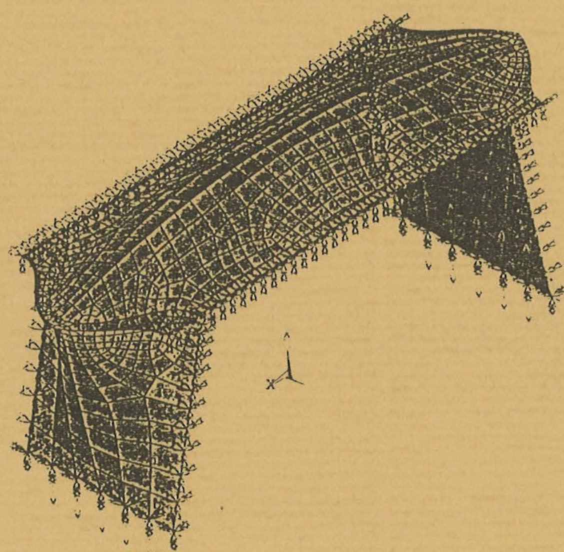
MÉTODOS AVANZADOS DE ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS (I)

EJEMPLOS PRÁCTICOS CON *ANSYS*

por

Mª BELÉN ORTA RIAL

JUAN RODRÍGUEZ DE RIVAS AGUIRRE



CUADERNOS
DEL INSTITUTO
JUAN DE HERRERA
DE LA *ESCUELA DE ARQUITECTURA DE MADRID*

MÉTODOS AVANZADOS DE ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS (I)

EJEMPLOS PRÁCTICOS CON *ANSYS*

por

Mª BELÉN ORTA RIAL

JUAN RODRÍGUEZ DE RIVAS AGUIRRE

CUADERNOS DEL INSTITUTO JUAN DE HERRERA DE LA *ESCUELA DE ARQUITECTURA DE MADRID*

Métodos avanzados de análisis de estructuras (I)
© 1999 Mª Belén Orta Rial
© 1999 Juan Rodríguez de Rivas Aguirre
Instituto Juan de Herrera.
Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid.
Composición y maquetación: Daniel Álvarez Morcillo.
CUADERNO 65.01
ISBN: 84-95365-09-X (obra completa)
ISBN: 84-95365-10-3 (Métodos avanzados I)
Depósito Legal: M-41231-1999

CONTENIDO

PROCEDIMIENTOS BASICOS DE UTILIZACION DE ANSYSED 5.3 y 5.5



DEPARTAMENTO DE ESTRUCTURAS DE EDIFICACIÓN
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA
U.P.M. MADRID

ESTRUCTURAS III

1. ESTRUCTURA GENERAL DEL PROGRAMA Y PROCEDIMIENTO BASICO. Al modo de toda actividad intelectual medianamiente bien organizada y coherente, el programa consta de un módulo de creación del modelo, otro de resolución del mismo y un tercero de lectura e interpretación los resultados. En la jerga convencional de la informática, que nosotros usaremos, se denominan preprocesador (/PREP7), procesador (/SOLUTION) y postprocesador (/POST1), respectivamente.

Para acceder al programa se debe acceder al grupo programas y dentro de él estará el ANSYSED 5.3. o 5.5 (O bien como acceso directo en el escritorio). Se ejecuta haciendo doble click en " Interactive", en esta ventana se debe indicar el directorio de trabajo (uno en el que tengamos permisos de lectura y escritura) y pulsar "Save&Run". Una vez dentro, el programa no hace nada. Aparecen varias ventanas: Ansys utility menu, Ansys Input, Ansys main menu, Ansys toolbar, Ansys graphics y Ansys output(semi oculta). Para operar hay que introducir todos los datos por uno mismo.

En el preprocesador se entra con /prep7 y se deben introducir después todos los datos acerca de la geometría de la estructura, con los nodos (n, ngen,nplot,ndele,) y elementos (e, egen, eplot, emodif, edele), indicando los sistemas de referencia utilizados, locales (local) o globales, en coordenadas cartesianas (csys,0), cilíndricas (csys,1) o esféricas (csys,2), las propiedades de los materiales (mp, mat) y los tipos de elementos a utilizar (et, type) y sus características mecánicas (r, real). Además deben constar las cargas a que está sometida la estructura, que pueden ser fuerzas en los nodos (f), momentos en los nodos (f), cargas repartidas (sf, sfbeam) y cargas másicas (acel). Por último, se deben hacer constar las coacciones en los nodos (d,dgen,dsym) que corresponda para simular correctamente los vínculos de la estructura. Por último, se abandona el preprocesador (finish) grabando el modelo antes (save).

En el procesador (/solution) se debe indicar el tipo de análisis (antype), la orden de resolver el modelo (solve) y la orden de salir (finish).

En el postprocesador (/post1), se debe indicar qué resultados se quieren obtener (etable), qué solución se quiere leer (set) y después se pueden solicitar todas las salidas indicadas en etable, tanto en gráficos (pletab) como en listados (pretab), las salidas standard nodales (plnstrs, prnstrs), las deformadas (pldisp, prdisp), las reacciones (prrsol) , las fuerzas nodales (presol), etc... Los resultados almacenados con etable se pueden luego manipular para obtener otros (smult, sadd, sexp,...). La salida del postprocesador es como en los otros casos (finish). Terminada la sesión se sale del programa con /EOF.

El orden de introducción de los datos puede ser el que se prefiera, pero nunca se puede pretender por comodidad alterar una secuencia lógica, pues las órdenes se interpretan a medida que se van introduciendo. Por eso, resulta más o menos seguro seguir la secuencia que se indica en el apartado siguiente. La forma más eficaz y lógica de trabajar es escribir todas las órdenes del preprocesador, del procesador y de parte del postprocesador en un fichero ASCII (solo texto), con cualquier procesador de textos - el Notepad, Wordpad o el edit del DOS son más que suficiente-. Hecho esto se entra en el programa y desde él se lee el fichero con la orden /input,nombre,extensión,ruta de acceso. Por ejemplo, hemos creado el fichero siguiente, que se llama EJEMPLO.DAT y está en el directorio \ESTRUCT\EJEMP de la unidad D :

```
/prep7
/show,vga,,1,8
/title,ejemplo
...
...
save
finish
/solution
antype,static
solve
finish
/post1
etable,...
...
set,1,1
```

Para que el programa lea lo que se ha escrito, se debe entrar en él. Una vez dentro se indica que

se lea el fichero con /input,ejemplo,dat,d:\estruct\ejemp, con lo que el programa generará el modelo, lo analizará y leerá la solución. Quedará por obtener sólo las salidas de resultados. Hay que advertir que si el fichero reside en el mismo directorio y la misma unidad en que se ha iniciado la sesión, no hace falta indicar la ruta de acceso. Esto es, se escribiría sólo /input,ejemplo,dat. Con este modo de proceder, si hay errores, no hay que reescribir todo sino que basta con salir del programa y cambiar lo que sea erróneo en el fichero ASCII. También permite guardar modelos más o menos complejos en espacio reducido, pues un archivo de texto ocupa poco frente a los ficheros que genera el propio programa, que son enormes. Hay que aclarar, que esta es la manera más práctica y rápida de trabajar con el programa pero a veces no la más intuitiva. También podemos realizar todas estas operaciones por medio de los menus del programa. El inconveniente de utilizar los menus es que si nos equivocamos, no se puede volver para atras y hay que empezar otra vez. En cualquier caso, el programa convierte todas las órdenes utilizadas en los menus, en fichero de texto ASCII con órdenes escritas, este fichero se crea en el directorio de trabajo y se llama "File.LOG". Este fichero se puede editar con un procesador de textos cualquiera, borrar las órdenes equivocadas, cambiarlo de nombre y volver a leerlo con el programa como si fuese un archivo de texto escrito por nosotros. Cuando se tiene un poco de experiencia en el manejo del programa, acabaremos utilizando una técnica mixta: menus y archivos de texto.

2. PREPROCESADOR. Como se ha dicho, las órdenes del preprocesador son las que se refieren a los datos que se utilizan para generar el modelo. Conviene empezar, tras indicar la entrada (/prep7), poniendo un nombre al modelo (/title), indicando el punto de vista (/view) y el eje que será el vertical (/vup). Estas órdenes se refieren exclusivamente a los puntos de vista de las salidas de pantalla y nada tienen que ver con las referencias locales o globales a los ejes respecto a los cuales se genera el modelo. Después se suele indicar cada uno de los tipos de elementos que se van a utilizar (et) con sus características mecánicas (r) y las propiedades de los materiales a utilizar (mp). Puede haber tantos tipos de elementos, de características mecánicas y de materiales como se quiera, sin que se liguen entre sí de manera obligada por su numeración. Esto es, el elemento tipo 1 (et,1, ...) no lleva aparejados el juego de características mecánicas 1 (r,1,...) y el de materiales 1 (mp,...,1,...), sino que se pueden combinar como se indique al generar los elementos. Eso sí, debe haber correspondencia lógica: no se puede asignar a un elemento viga las características mecánicas de un elemento placa o viceversa, por ejemplo.

Hecho esto, se generan los nodos, ya sea uno a uno (n), o generando unos a partir de otros (ngen). Para este último caso es útil considerar los ejes de referencia locales (local), pues permiten generar nodos en una posición para la que los ejes generales con su sistema de referencia (csys) pueden no valer o ser poco apropiados. Una vez generados los nodos, los elementos se generan citando los nodos que ligan. Antes de ello, hay que indicar qué tipo de elemento se utiliza de los listados al principio (type), con qué características mecánicas (real) y de qué material está hecho (mat). Así, se puede proceder indicando elemento por elemento (e) o bien, como con los nodos, generar unos a partir de otros (egen). Hay que tener buen cuidado en el orden en que se citan los nodos, pues la línea que liga los dos primeros nodos es la que indica el eje X local del elemento, lo que es muy importante a la hora de leer los resultados. Si el elemento es plano, el eje local Y del elemento es paralelo a la línea que liga el segundo con el tercer nodo y el Z, el normal definido por producto vectorial del X por el Y.

Dos órdenes muy útiles son nplot y eplot. Indican que se imprima en pantalla la malla de nodos y la de elementos, respectivamente. Se pueden utilizar en cualquier punto del programa y conviene insertarlas en el listado después de cada paso comprometido. Así controla uno si de un paso al siguiente la operación ejecutada es la que se pensaba y se evita encontrarse al final con todo acabado y mal hecho sin saber dónde ha fallado el proceso.

Ahora podemos indicar en el modelo las acciones o cargas a que está sometida la estructura y las coacciones, siendo indiferente, en principio, el orden. Las fuerzas y momentos en los nodos (f) pueden ser directamente puntuales o representar acciones distribuidas. La elección entre simular una carga repartida como puntual o como realmente distribuida debe hacerse según criterio del que hace el modelo. Desde luego, parece que cada cosa se debe representar como lo que es, pero sucede que al simular una lámina con pocas subdivisiones, las cargas repartidas tienden a producir, por condiciones de las propias limitaciones de la formulación del elemento 63 -si es que se usa éste-, flexiones locales muy superiores a las reales, penalizando la rigidez de membrana artificialmente. Esto es algo muy común en los modelos MEF, no esta distorsión en concreto, sino que la formulación no reproduce correctamente

lo que pensamos que reproduce. Nada es perfecto.

Siguiendo con las cargas, si éstas son distribuidas se pueden situar sobre vigas y barras (sfbeam) o sobre placas y láminas (sf). Las cargas másicas se consideran a partir de la densidad definida en las propiedades de los materiales (mp,dens,..,...) como una fuerza de inercia. Esto significa que si queremos simular el peso propio, siendo el eje vertical el Z, por ejemplo, las fuerzas serán hacia abajo, esto es, negativas y, por ello, la aceleración debe ser hacia arriba. Describe el efecto que sufriría la estructura si el sistema fuese sometido a una aceleración hacia arriba.

Las coacciones se prescriben para los nodos uno a uno (d) o por generación (dgen), como para los nodos o los elementos. Es muy común que si la estructura presenta simetrías, se reproduzca en el modelo sólo una parte de ella. En las líneas de simetría puede ser fácil ver cuáles son las coacciones que definen la simetría, pero en algunos casos no. Para éstos últimos, o para todos, se puede directamente invocar la condición de simetría (dsym,symm) o de antimetría (dsym,asymm). Por supuesto, las condiciones de las coacciones suelen repetirse para muchos nodos y resulta conveniente poder coaccionar todos de un golpe sin más. Para eso es útil seleccionar los nodos por grupos (nsel) para luego asignar las mismas coacciones a todos (d,all,...). Debe recordarse que después de seleccionar un cierto grupo de nodos, del modelo, a efectos de análisis, sólo están activos esos y los demás se obvian. Por eso, como precaución, al final de la generación del modelo con sus coacciones se debe indicar que se tomen todos los nodos con nsel,all. Así se evita que una parte del modelo no entre en el análisis y se obtengan resultados erróneos.

Una orden útil es la que permite que la edición en pantalla de los nudos o los elementos aparezca numerada (/pnum) o sin numerar, según convenga. A veces también es interesante que aparezcan representadas las coacciones y las cargas para saber si el modelo es correcto (/pbc).

Acabado el modelo se debe grabar (save), para poder llevar a cabo el análisis, y salir del preprocesador (finish).

3. PROCESADOR. Esta es la parte más sencilla. Sin duda. Aquí todo se limita a hacer que el programa trabaje. Hay que acceder a él (/solution) y luego indicar el tipo de análisis (antype). Para nuestro caso, como sólo nos referiremos al análisis estático y lineal, siempre hay que escribir antype,static. Por último, basta con indicar que resuelva el modelo (solve). Tras esta orden se esconde en realidad el meollo del programa. Aquí se leen los datos de todos los elementos, se genera la matriz de rigidez de cada uno de ellos, se ensambla la matriz de rigidez general de la estructura, se generan los vectores de fuerzas nodales de cada elemento y, de ellos, el vector general de fuerzas. Se invierte la matriz de rigidez y luego se multiplica por el vector general de fuerzas para obtener los desplazamientos nodales. Esta solución es la que se utiliza para el postprocesador.

Para terminar se sale como en el preprocesador (finish).

4. POSTPROCESADOR. Se entra en el postprocesador con /post1. Ahora se define el grupo de resultados que se desean para cada tipo de elemento (etable). El nombre de cada tabla definida es arbitrario, según la preferencia de cada cual, pero los códigos están definidos para cada tipo de elemento en el manual del programa. A veces, los códigos de dos resultados que no tienen nada que ver de dos tipos de elementos distintos, coinciden. Para evitar que en una tabla se mezclen churras con merinas, conviene especificar las tablas una vez seleccionado el tipo de elemento (esel) del que queremos alamacenar los resultados. Como en el caso de los nodos, cuando se haga selección de elementos, conviene al final indicar que se vuelvan a seleccionar todos con esel,all. Ahora estamos en disposición de leer los resultados (set). En principio, se pueden leer resultados de distintas hipótesis de carga y distintos pasos de carga, pero en nuestro caso sólo hay una hipótesis y un paso, por lo que es siempre set,1,1. A partir de entonces podemos reclamar que el programa dibuje en pantalla los resultados (pletab, plls, plnstrs) o que los liste (pretab, prnstrs). Puede dibujar la deformada (pldisp) o listar los desplazamientos (prdisp), listar las reacciones (prrsol), listar las fuerzas nodales (presol), dibujar los vectores de direcciones principales u otros (plvect), etc... En el listado del ejemplo, se acababa en set,1,1. Esto se debe a que, por lo general, interesa poder examinar pausadamente los resultados, mientras que los pasos anteriores no son más que operaciones que no queda otro remedio que hacer, pero que no importan por si mismos. Si uno debe hacer varias salidas de resultados de un mismo modelo en distintas circunstancias, y ya sabe qué resultados quiere obtener, puede escribir también la salida de resultados en el fichero. Por supuesto, las salidas en pantalla se pierden y los resultados hay que guardarlos para poderlos manipular, editar y analizar. Los resultados alfanuméricos se pueden guardar enviando la salida

a un archivo en lugar de enviarlos a la pantalla. La orden es /output,nombre de archivo,extensión,ruta de acceso, con los mismos significados que para /input. Así, supongamos que hemos escrito etable,mxx,...,... creando una tabla que se llama mxx. Si escribimos lo sigiuente después de set,1,1:

```
/output,ejemplo,res,d:\estruct\ejemp
pretab,mxx
prdisp
prrsol,f
nlist
elist
```

habremos creado un archivo llamado EJEMPLO.RES en el directorio \ESTRUCT\EJEMP en la unidad D. De nuevo, si el directorio donde queremos que se guarde el fichero es el mismo en que se inició la sesión, no hace falta indicar la ruta de acceso. En ese fichero ASCII habremos acumulado los valores de la tabla mxx, los valores de los desplazamientos de los nodos (prdisp), las reacciones que son fuerzas (prrsol,f), la lista de los nodos con sus coordenadas (nlist) y la de los elementos indicando los nodos que los definen (elist). Las dos últimas órdenes se pueden utilizar también en el preprocesador.

En el caso de los gráficos, basta con entrar en el menu "PlotCtrls" y dentro de este en "Hard Copy.." donde se indicará por que impresora queremos imprimir los gráficos que yá hemos mostrado en pantalla.

Por último, a veces se necesita obtener resultados que no provee directamente la salida de resultados y hay que operar otros para obtenerlos (sadd, smult, sexp,...). Las nuevas tablas creadas son del todo iguales a las originales de las que parten y, a su vez, pueden servir de partida para otras.

La salida del postpocesador es la habitual (finish) pero se puede volver a repetir la salida de resultados con otros etable escribiendo reset, con lo que volvemos al punto anterior a set,1,1 con el mismo análisis, o sea, con la misma solución. Si se desea acabar la sesión se sale del programa con /EOF.

LISTADO DE ORDENES MÁS UTILIZADAS

LISTADO DE LAS ORDENES MAS UTILIZADAS

A continuación se listan algunas de las ordenes de ANSYS más utilizadas, empleadas en las prácticas, agrupadas por temas según su orden habitual de utilización, con una breve descripción de su función, para mayor detalle consultar los manuales del programa, o en la línea de comandos tecleando la orden **HELP**. Los nombres de los comandos aparecen en **NEGRITA**, en *cursiva* los nombres de los argumentos, y los valores que pueden tomar los argumentos en un caso especifico se han escrito en MAYÚSCULAS .

1. NIVEL PROCESADOR

/PREP7	! Entra en el preprocesador
/SOLUTION	! Entra en el procesador de solución
/POST1	! Entra en el procesador post1 (salida de resultados)
/AUX15	! Entra en el proceso de transferencia de archivos IGES
SAVE	! Graba los datos en la base de datos
FINISH	! Salir de cualquier procesador y se vuelve al nivel inicial

2. IGES

IGESIN,*nombre*,*ext*,*dir*	! Carga el archivo *nombre.ext* del directorio *dir*
IOPTN,iges,alternate	! Usa la opción alternativa de importar archivos IGES

3. NIVEL INICIAL - COMANDOS ÚTILES

Son comandos que se pueden invocar sin entrar en ningún procesador.

/TITLE, *nombre*	! Da el titulo *nombre* al trabajo, aparece en pantalla
/STITLE,1,*nombre*	! Da el subtítulo *nombre* que aparecerá en los listados
/INPUT,*fname*,*ext*,dir	! Lee el fichero de entrada de datos *fname.ext* del directorio *dir*
/CLEAR	! Reinicia el fichero de base de datos
/WINDOW,*wn*,*xmin*,*xmax*,*ymin*,*ymax*,*ncopy*	! Define, activa o desactiva el numero y tamaño de las ventanas gráficas
/VIEW,*wn*,*xv*,*yv*,*zv*	! Define la dirección del punto de vista de la ventana *wn* con coordenadas (*xv*,*yv*,*zv*)
/VUP,*wn*,*label*	! Especifica la orientación de los ejes cartesianos globales

4. SISTEMAS DE COORDENADAS

LOCAL, *kcn*,*kcs*, *xc*, *yc*	! Define un sistema de coordenadas local con origen y orientación *kcs*: 0 cartesianas; 1 cilíndricas, 2 esféricas, 3 toroidal
CSYS, *kcn*	! Activa el sistema de coordenadas previamente definido

5. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO

5.1. DEFINICIÓN DE MATERIAL Y ELEMENTOS

MP,DENS,*mat*,*C0*	! Densidad del material *mat* de valor *C0*
MP,EX, *mat*,*C0*	! Modulo de elasticidad material *mat* de valor *C0*
MP,NUXY, *mat*,*C0*	! Coeficiente de poisson material *mat* de valor *C0*
TB,*lab*,*mat*,*ntemp*,*npts*	! Activa tabla de datos del material *mat*
TBDATA,*stloc*,*c1*,*c2*,*c3*,*c4*,*c5*,*c6*	! Define los valores de la tabla de datos especificada previamente con el comando **TB**
ET,*type*,*ename*,*kopt*	! Define el elemento tipo *type*, de nombre *ename* (ver los tipos de elementos), con las opciones *kopt* asociadas a ese tipo
KEYOPT,type,*knum*,*value*	! Asigna a la opción *knum* del elemento definido como tipo *type* el valor *value*
R,*nset*,*r1*,*r2*,*r3*,*r4*,*r5*,*r6*	! Define seis constantes de los elementos del tipo *nset*, (características geométricas como espesor, área o inercia, dependiendo del tipo de elemento elegido)

RMORE,,*r7*,*r8*,*r9*...,*r12* ! Añade seis constantes más a los elementos de la definición previa

5.2. NODOS

N,*node*,*x*,*y*,*z* ! Define el nodo *node* en el sistema de coordenadas activo

FILL,*node1*,*node2*, ! Genera una línea de nodos entre dos existentes *node1* y *node2*

NGEN,*itime*,*inc*,*node1*,*node2*,*ninc*,*dx*,*dy*,*dz*

! Generación de nodos según patrón:
itime conjuntos de nodos generados incluidos los originales,
incrementando la numeración en *inc*,
copiando del nodo *node1* al nodo *node2* tomados cada *ninc*,
incrementando las coordenadas X en *dx*, Y en *dy*, Z en *dz*.

NLIST,*node1*,*node2*,*ninc* ! Lista los nodos y sus coordenadas

NROTAT,*node1*,*node2*,*ninc*

! Gira el sistema de coordenadas locales en nudos para ponerlos paralelos a los ejes del sistema definido

5.3. ASIGNACIÓN DE ELEMENTOS

TYPE,*itype* ! Selección del tipo de elemento *itype* previamente definido, para asignación a los siguientes elementos que se definan

MAT,*mat* ! Selección del tipo de material *mat* previamente definido, para asignación a los siguientes elementos

REAL,*nset* ! Selecciona las constantes definidas del tipo *nset*

E,*i*,*j*,*k*,*l* ! Define el elemento entre los nodos *i*, *j*, *k*, *l*, (según el tipo de elemento requerirá 2, 3 o mas nodos)

EGEN,*itime*,*ninc*,*iel1*,*iel2*,*ieinc*

! Generación de elementos según patrón:
itime conjuntos de elementos generados incluidos los originales,
incrementando la numeración de los nodos en *ninc*,
copiando del elemento *iel1* al *iel2* tomados cada *ieinc*,

ESYS,*kcn* ! Selecciona la orientación de ejes en los elementos de cara a la salida de resultados, por defecto *kcn* = 0 paralelos a ejes de elementos

EDELE,*iel1*,*iel2*,*inc* ! Elimina los elementos de *iel1* a *iel2* tomados cada *inc*

EMODIF,*iel*,*stloc*,i1,*i2*,... ! Modifica los elementos *iel* previamente definidos

6. MODELADO SÓLIDO

Keypoint: puntos clave vértices de objetos definidos posteriormente.

K,*npt*,*x*,*y*,*z* ! Define el punto clave numero *npt* de coordenadas (*x*,*y*,*z*)

Line: líneas clave bordes de objetos.

L,*p1*,*p2* ! Define la línea entre los puntos clave *p1* y *p2*

Área

A,*p1*,*p2*,*p3* ! Define un área entre los puntos clave *p1*, *p2*, *p3*, etc.

AL,*l1*,*l2*,*l3* ! Define un área delimitada por las líneas *l1*, *l2*, *l3*, etc.

ASBA,*na1*,*na2* ! Genera un nuevo área resultado de restar área *na2* del área *na1*

6.1. OPERACIONES DE MODELADO SÓLIDO

Control y generación del mallado:

LESIZE,*nl1*,*size*,*angsiz*,*ndiv*,*space*,*kforc*

! Especifica las divisiones y relación de espaciado en las *nl1* líneas definidas para posterior mallado, indicando la longitud del elemento (*size*) o el número de divisiones (*ndiv*)

LMESH,*nl1*,*nl2*,*ninc* ! Genera nodos y elementos lineales (el que esté definido) a lo largo de las líneas. Cada línea se divide en el número de elementos definido por **LESIZE** (orden anterior)

AMESH,*na1*,*na2*,*ninc* ! Genera elementos superficiales con sus nodos sobre areas ya definidas

7. PLOT

/PNUM,*label*,*key*	! Activa (*key* = 1)o desactiva (*key* = 0) la numeración de *label* (*label* = node, elem, kp, etc..)
/CONTOUR,*wn,ncont,vmin,vinc,vmax*	! Define una escala de colores para representaciones gráficas
/PBC,*item, key*	! Activa (*key* = 1)o desactiva (*key* = 0) la representación en pantalla de las condiciones de contorno
/DEVICE,VECTOR,ON	! Opciones de dispositivo gráfico, activa el modo VECTOR, las areas y volumenes se representan alambricas
NPLOT	! Dibuja en pantalla los nodos seleccionados
EPLOT	! Dibuja en pantalla los elementos seleccionados
KPLOT	! Dibuja en pantalla los puntos clave seleccionados
LPLOT	! Dibuja en pantalla las lineas seleccionadas
APLOT	! Dibuja en pantalla las areas seleccionadas
/DSCALE,*wn,smult*	! Aplica el factor de escala *smult* a la representación de la deformada en la ventana *wn*
/ERASE	! Instrucción para que borre la pantalla entre representaciones gráficas
/NOERASE	! Instrucción para que no se borre la pantalla entre representaciones gráficas

8. SELECCION

NSEL,*type,item,comp,vmin,vmax,vinc*	! Selecciona nodos según *item* (NODE, numero de nodo; LOC, localización en el sistema de coordenadas activo; etc.), componente *comp*, tomandolo de *vmin* al *vmax* cada *vinc*.
ESEL,*type,item,comp,vmin,vmax,vinc*	! Selecciona elementos según *item* (elem, numero de elemento; type, tipo de elemento; ename, nombre; mat, material; etc), componente *comp*, de *vmin* al *vmax* tomados cada *vinc*. Algunos valores posibles para *type* validos tanto en **NSEL** como en **ESEL** son: (S) nuevo conjunto, (R) reselección del conjunto actual, (A) añadir a la selección, (U) eliminar de la selección, (ALL) todos, (NONE) ninguno, (INVE) invertir la selección.
ESLN,*type,ekey*	! Selecciona los elementos basado en los nodos existentes

9. CONDICIONES DE APOYO Y CARGAS

D,*node,lab,value*	! Especifica las coacciones en los nodos seleccionados en *node*, al movimiento *lab*, a un valor *value*
F,*node,lab,value*	! Aplica cargas puntuales en los nodos *node*, según *lab* (FX,FY,FZ,MX,MY,MZ,...) de valor *value*
SFBEAM,*elem,lkey,lab,val1,val2*	! Especifica cargas lineales en los elementos *elem* tipo BEAM, clave asociada *lkey*, *lab* solo se admite PRES, de valor *val1* en nodo I, *val2* en nodo J del elemento
ACEL,*acelx,acely,acelz*	! Asigna una aceleracion de valor *acelx* en el eje X, *acely* en el eje Y, *acelz* en el eje Z

10. RESOLUCIÓN

ANTYPE, *type*	! Indica que el tipo de análisis es *type*, el análisis de tipo estático (STATIC) es el que siempre se ha usado en estas prácticas
NLGEOM,*key*	! Activa (*key* = on) o desactiva (*key* = off) la no linealidad geometrica. Se activa para considerar la posicion deformada de la estructura
NROPT,*option,,adptky*	! Opciones para iteracions de Newton Rapson
NEQIT,*neqit,*	! Define el número máximo de iteraciones de equilibrio
SSTIF,*key*	! Activa (*key* = on) o desactiva (*key* = off) los efectos de rigidez no lineal
AUTOTS, *key*	! Activa (*key* = on) o desactiva (*key* = off) los saltos de carga automaticos
NSUBST,*nsbstp,nsbmx*	! Especifica el numero y tamaño de los saltos de carga

OUTRES,*item*,*freq*,*cname* ! Controla que los datos de la solución *item* se escriban en la base de datos con una frecuencia *freq*, del conjunto de nodos *cname*

SOLVE ! Ordena resolver el sistema

11. SALIDA DE RESULTADOS

SHELL,*loc* ! Especifica para elementos tipo SHELL la localizacion en que se dan los resultados según *loc*: TOP, cara superior, MID, medio; BOT, cara inferior

SET,*lstep*,*sbstep* ! lee datos de resultados del paso de carga *lstep*, subpaso *sbstep*

11.1. PREPARAR TABLAS

ETABLE,*lab*,*item*,*comp* ! Define una tabla de nombre *lab* con los valores por elemento dados por *item, comp* que dependen del tipo de elemento

11.2. IMPRIMIR DATOS

PRDISP ! Lista los valores de los desplazamientos de los nodos

PRESOL,*item* ! Lista los valores de los esfuerzos de los elementos seleccionados. Algunos valores que puede tomar *item* son: S (SX, SY,SZ, SXY, SYZ, SXZ), F, M, etc., en coordenadas cartesianas globales

PRETAB,*lab1*,*lab2...* ! Lista los datos de las tablas relacionadas *lab1*, *lab2...*

PRNSOL,*item*,*comp* ! Lista resultados en los nodos seleccionados. Algunos valores que puede tomar *item*: U desplazamientos, ROT giros, etc. con sus componentes *comp*: X,Y,Z

PRRSOL,*lab* ! Lista las reacciones *lab* (FX, FY, FZ, MX, MY, MZ, ...)en los nudos en coordenadas cartesianas globales

PRVECT,*item* ! Lista el valor y dirección de los resultados *item* (U desplazamientos, ROT giros, etc.)

11.3. IMPRIMIR GRAFICOS

PLDISP,*kund* ! Gráfica de la estructura deformada *knud*: 0 sólo la deformada, 1 deformada y estructura inicial, 2 deformada y contorno de la estructura inicial.

PLNSOL,*item*, *comp* ! Gráfica de resultados en los nodos

PLETAB,*itlab*,*avglab* ! Gráfica de los datos de la tabla *itlab* en los elementos seleccionados

PLLS,Ma1,Mb1 ! grafica momentos

PLVECT,disp ! gráfica de resultados de los nodos como vector

PLCRACK ! representa las grietas

12. CALCULOS

SMULT,*labR*,*lab1*,*lab2*,*fact1*,*fact2* ! Multiplica resultados producidos por **ETABLE** y lo almacena en una nueva tabla llamada *labR*

labR = (*lab1* x *fact1*) + (*lab2* x *fact2*)

PCALC,*oper*,*labR*,*lab1*,*lab2*,*fact1*,*fact2*,*const*

! Suma multiplica, divide, etc. resultados producidos por **PCALC** o comandos tipo path como **PDEF**, almacenndo el resultado en *labR*

si *oper* = ADD *labR* = (*lab1* x *fact1*) + (*lab2* x *fact2*) + *const*

si *oper* = MULT *labR* = *lab1* x *lab2* x *fact1*

si *oper* = DIV *labR* = (*lab1* / *lab2*) x *fact1*

12.1. COMANDOS TIPO PATH

LPATH,*node1*,*node2*,*node3*,*node4*,...,*node10*

! Define un camino de nodos para operaciones posteriores

PDEF,*lab*,*item*,*comp* ! Define el valor de *lab*, interpolando entre los nodos del camino definido anteriormente, con *item*: U desplazamientos, ROT giros, etc., *comp* X, Y, Z, SUM, o *item*: S tensiones, *comp* X, Y, Z, XY, YZ, XZ, 1, 2, 3, entre otros

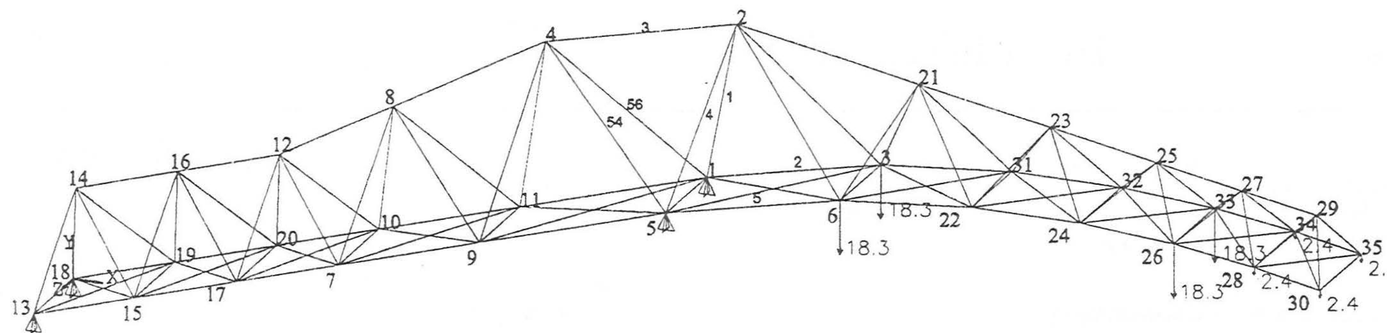
si *lab* = SAVE guarda los valores definidos evitando que al definir un nuevo camino de nodos se pierdan los valores calculados con el último **PDEF**

PLPATH,*lab1*,*lab2*,...*lab6*

! Calcula y dibuja la gráfica a lo largo de un camin, siendo *lab1*,*lab2*,...*lab6*, nombres de resultados producidos por **PCALC** o comandos tipo path como **PDEF**

PRÁCTICAS






```
! LECTURA DE ARCHIVO CREADO POR AUTOCAD12
/aux15          ! Entra en el proceso de transferencia de archivos IGES
ioptn,iges,alternate
                ! Usa la opción alternativa de importar
                ! archivos IGES
igesin,CERSIZA,igs,c:\home\juanr
                ! Carga el archivo CERSIZA.igs del
                ! directorio (c:/home/juanr) especificado al ANSYS.
/pnum,kp,1      ! Activa la numeración de los Kpoints
                ! (cuando se dibujen)
/view,1,1,1,1   ! Define la dirección del pto. de vista de la ventana 1
                ! con coordenadas (1,1,1)
kplot           ! Dibuja los Kpoints
lplot           ! Dibuja las líneas

! PREPROCESADOR
/prep7          ! Entra en el preprocesador (prep7)
/title,CERCHA ESPACIAL
                ! Título de la estructura

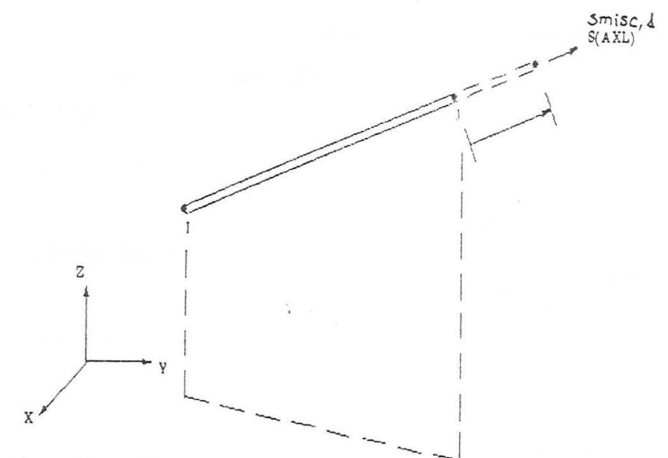
! TIPO DE ELEMENTO
et,1,link8      ! Define el elemento tipo 1 como LINK8 (barra 3d)
r,1,1e-4,,      ! Constantes reales 1: Area [m2],
                ! Acortamiento inicial(0)
! MATERIAL
mp,ex,1,21e7    ! Módulo de elasticidad del material tipo 1 [kN/m2]
mp,nuxy,1,.3    ! Coef. de Poisson del material tipo 1
mp,dens,1,0     ! Densidad del material 1,
                ! no considera el peso propio

! NODOS Y ELEMENTOS
lesize,all,0,,1 ! Especifica que todas las líneas,
                ! se dividirán en solo 1 elementocada una
lmesh,all       ! Genera nodos y elementos lineales (asignando el
                ! que esté definido) a lo largo de las líneas.
                ! Cada línea se divide en el número de elementos
                ! definido por lesize (orden anterior)
/pnum,node,1    ! Activa la numeración de los nodos
                ! (cuando se dibujen)
nplot           ! Dibuja los nodos
eplot           ! Dibuja los elementos

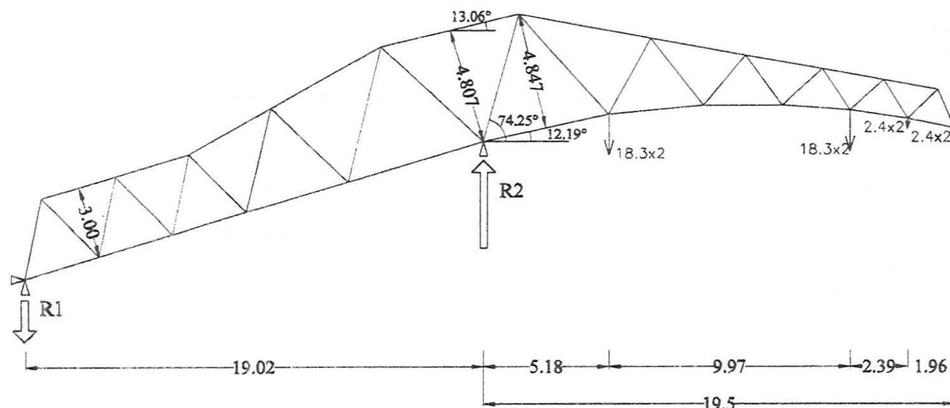
! CONDICIONES DE APOYO
d,13,uy,0       ! Especifica coacción vertical en el nodo 13
d,18,uy,0       ! Especifica coacción vertical en el nodo 18
d,13,ux,0       ! Especifica coacción horizontal en el nodo 13
d,18,ux,0       ! Especifica coacción horizontal en el nodo 18
d,14,uz,0       ! Especifica coacción en la dirección Z, en nodo 14
d,1,uy,0        ! Especifica coacción vertical en el nodo 1
d,5,uy,0        ! Especifica coacción vertical en el nodo 5

! CARGAS
f,3,fy,-18.3    ! Aplica carga puntual vertical de 18,3kN
                ! en el nodo 3
f,6,fy,-18.3    ! Idem en el nodo 6
f,26,fy,-18.3   ! Idem en el nodo 26
f,33,fy,-18.3   ! Idem en el nodo 33
f,28,fy,-2.4    ! Aplica carga puntual vertical de 2,4kN
                ! en el nodo 28
f,30,fy,-2.4    ! Idem en el nodo 30
f,34,fy,-2.4    ! Idem en el nodo 34
f,35,fy,-2.4    ! Idem en el nodo 35

! SALVAR Y SALIR
save            ! Graba los datos de geometría, cargas y apoyos
finish          ! Se sale del preprocesador
```



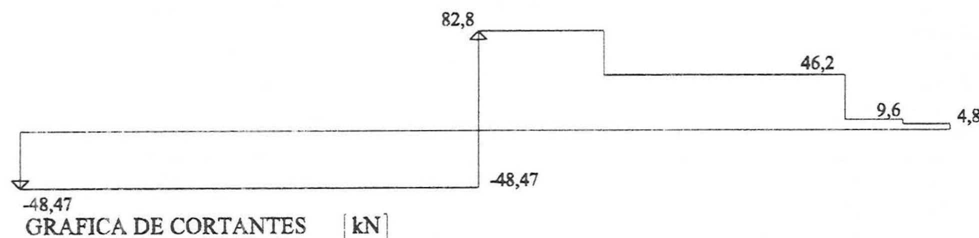
LINK8 3-D Spar Output



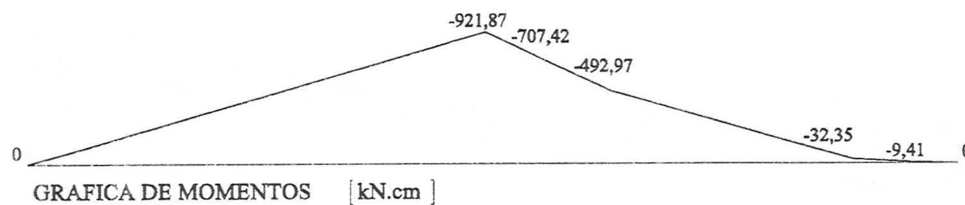
REACCIONES

$$R1 = \frac{18{,}3 \cdot 2 \cdot 5{,}18 + 18{,}3 \cdot 2 \cdot 15{,}15 + 2{,}4 \cdot 2 \cdot 18{,}54 + 2{,}4 \cdot 2 \cdot 19{,}5}{19{,}02} = -48.47 \text{ kN}$$

$$R2 = Q - R1 = 82{,}8 + 48{,}47 = 131{,}27 \text{ kN}$$



GRAFICA DE CORTANTES [kN]



GRAFICA DE MOMENTOS [kN.cm]

AXIL MAXIMO CORDON SUPERIOR

$$N_{max,CS} = \frac{921{,}87}{4{,}807} = 191{,}77 \text{ kN} \quad \text{TRACCION}$$

-921,87 4.807

AXIL MAXIMO CORDON INFERIOR

$$N_{max,CI} = \frac{707{,}42}{2 \cdot 4{,}847} = 72{,}97 \text{ kN} \quad \text{COMPRESION}$$

$$72{,}97 \cdot 0.75 = 54{,}73 \text{ kN}$$

-707.42 4.847 Σ Plano Inferior

AXIL MAXIMO EN DIAGONALES

$$N_{VD} + N_{VCI} + N_{VCS} = T$$

$$N_{VD} = T - N_{VCI} + N_{VCS} = 82{,}8 - 72{,}97 \cdot 2 \cdot \text{sen}12{,}19 + 191{,}77 \cdot \text{sen}13{,}06$$

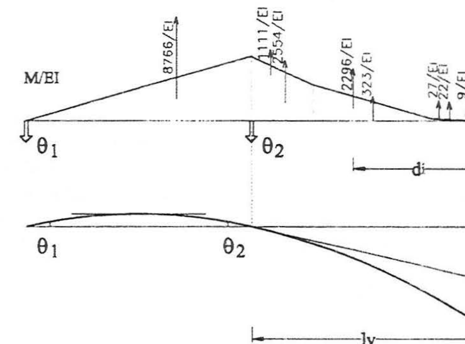
$$N_{VD} = 95{,}32 \text{ kN}$$

$$N_D = \frac{95{,}32}{2 \cdot \text{sen}74{,}25} = 49{,}52 \text{ kN} \quad \text{COMPRESION}$$

N_{VCS} N_{VD} 4.847 82.8 kN N_{VCI}

FLECHA MAXIMA APROXIMADA

los giros son las reacciones de la grafica de M/EI como carga



no se considera la inercia variable

$$\theta_1 = \frac{-23283}{19{,}02EI} = \frac{-1224{,}13}{EI}$$

$$\theta_2 = \frac{-13885{,}14}{EI}$$

el descenso máximo se produce en el extremo del voladizo y será igual a:

$$\delta_{max} = \theta_2 \, lv + \Sigma AMi \, di$$

$$\delta_{max} = \frac{270757}{EI} + \frac{91358}{EI} = \frac{362115}{EI}$$

El descenso maximo será aproximadamente

A=11e-4 A A 4.8

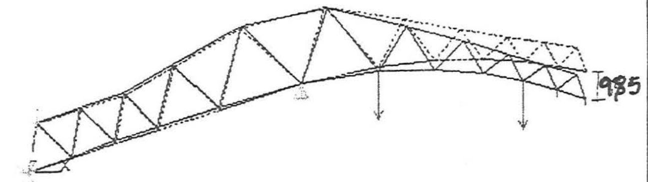
$$I = 169e\text{-}4$$

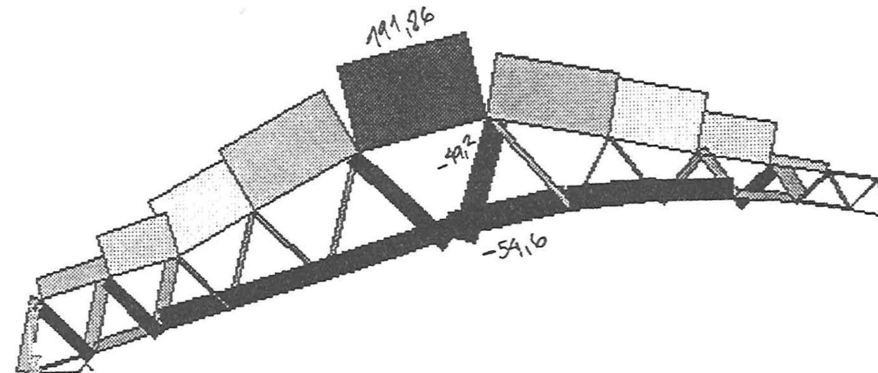
$$\delta_{max} = \frac{362115}{21e7 \; 169e\text{-}4} = 10{,}2 \text{ cm}$$

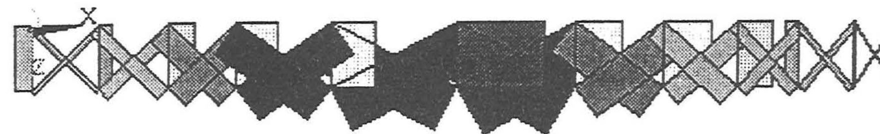
! PROCESADOR DE SOLUCION

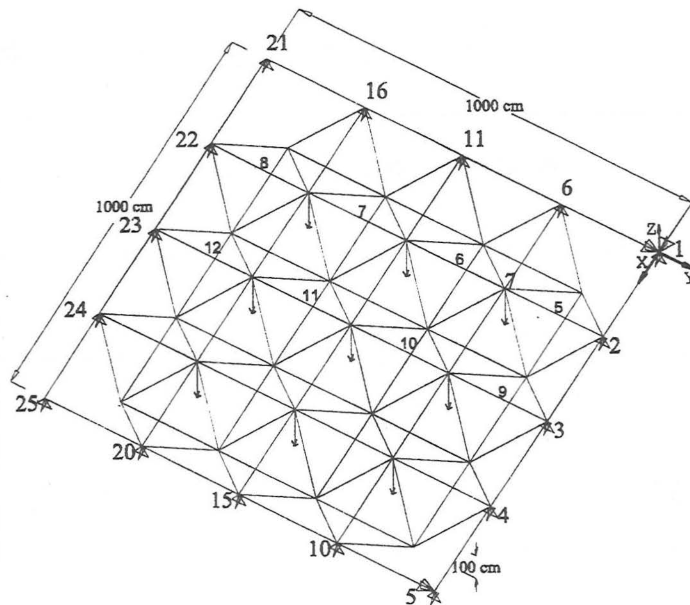
```
/solution         ! Entra en procesador de solución
antype,static     ! Define el tipo de análisis como estático
solve             ! Ordena resolver el sistema
finish            ! Sale del procesador de solución

! POSTPROCESADOR
! SALIDA E INTERPRETACION DE RESULTADOS
/post1            ! Entra en el procesador post1
                  ! (salida de resultados)
etable,n1,smisc,1
                  ! Confecciona la tabla llamada "n1" con los axiles
                  ! (N) (smisc,1) de cada elemento
pldisp,1          ! Dibuja la estructura deformada, con la estructura
                  ! original de base (1)
/view,1,0,0,1     ! Define la dirección del pto. de vista de la ventana 1
                  ! con coordenadas (0,0,1)-Alzado
pldisp,1          ! Dibuja la estructura deformada, con la estructura
                  ! original de base (1)
prdisp            ! Imprime los valores de los desplazamientos
                  ! de los nodos
prrsol,f          ! Imprime el valor de las reacciones en los apoyos
                  ! (fuerzas)
pretab,n1         ! Imprime la tabla n1. (Axiles en las barras)
plls,n1,n1        ! Dibuja la gráfica de los elementos lineales (todos)
                  ! con los datos de las tablas n1,
                  ! (Axiles en las barras)
nsel,s,loc,z,1.5  ! Selecciona los nodos con coordenada Z=1.5
                  ! (Cordón superior)
nsel,a,loc,z,0    ! Añade a la anterior selección los nodos con
                  ! coordenada Z=0
esln,s,1          ! Selecciona los elementos con los dos nodos
                  ! (extremos) dentro de los nodos anteriormente
                  ! seleccionados (Cordón superior, uno de los
                  ! cordones inferiores y un plano de diagonales)
plls,n1,n1        ! Igual que antes
                  ! (gráfica de normales en cordones y diagonales)
nsel,all          ! Selecciona todos los nodos
nsel,s,loc,z,0    ! Selecciona los nodos con coordenada Z=0
nsel,a,loc,z,3    ! Añade a la anterior selección los nodos con
                  ! coordenada Z=3
esln,s,1          ! Selecciona los elementos con los dos nodos
                  ! (extremos) dentro de los nodos anteriormente
                  ! seleccionados (Cordones inferiores y
                  ! triangulaciones entre ellos)
nsel,s,loc,z,0    ! Selecciona los nodos con coordenada Z=0
esln,u,1          ! Resta de la selección de elementos anterior los
                  ! elementos cuyos nodos extremos estén dentro del
                  ! grupo de nodos seleccionado (quita del plano
                  ! inferior uno de los cordones inferiores)
nsel,s,loc,z,3    ! Selecciona los nodos con coordenadas Z=3
esln,u,1          ! Vuelve a restar el otro cordón
nsel,a,loc,z,0    ! Añade a la selección de nodos, los de
                  ! coordenada Z=3
                  ! Todas estas órdenes se realizan para seleccionar
                  ! solo las barras de la triangulación inferior y poder
                  ! dibujar su gráfica de normales
/view,1,0,1,0     ! Define la dirección del pto. de vista de la ventana 1
                  ! con coordenadas (0,1,0)-Planta
plls,n1,n1        ! Gráfica de normales
```










```
!PREPROCESADO, INTRODUCCIÓN DE DATOS
/prep7            ! entra en el nivel de preprocesador
/view,1,2,3,5     ! define la dirección del punto de vista en la
                  ! ventana 1 con coordenadas (2,3,5)
/vup,1,z          ! especifica la orientación de los ejes globales
                  ! eje Z en vertical
/title,EMPARRILLADO
                  ! título
/pbc,all,1        ! pone los simbolos de las coacciones de
                  ! todo (all), en activo(1)
```

```
!TIPO DE ELEMENTO
et,1,4            ! elemento tipo 1 BEAM4
r,1,5             ! constantes para la sección 1: AREA [cm2]

!MATERIAL
mp,ex,1,21000     ! modulo de elasticidad material 1 [kN/cm2]
mp,nuxy,1,.3      ! coef. de poisson material 1
mp,dens,1,0       ! densidad: no considera el peso propio

!NODOS
n,1,0,0,0         ! define nodo 1 de coordenadas (0,0,0) [cm]
n,5,1000,0,0      ! define nodo 5 de coordenadas (1000, 0, 0)
fill,1,5          ! genera una línea de nudos entre el 1 y 5
ngen,5,5,1,5,1,0,-250,0
ngen,2,25,1,25,1,125,-125,-100
                  ! ngen: genera nodos según un patron:
                  ! 2 conjuntos de nodos(incluido el original),
                  ! incrementando la numeración en 25,
                  ! copiando del nodo 1 al 25 tomados de 1 en 1,
                  ! incrementando X en 125, Y en -125 y Z en -100
nplot             ! dibuja en pantalla los nodos

!ELEMENTOS
type,1            ! asigna tipo 1 a los siguientes elementos
real,1            ! selecciona las constantes definidas de la sección 1
e,1,6             ! define el elemento del nodo 1 al 6
egen,4,5,1,1,1    ! generación 4 conjuntos de elementos
                  ! (incluido el original), incrementando la
                  ! numeración de los nodos en 5,
                  ! copiando del 1 al 1, tomados de 1 en uno
egen,5,1,1,4,1    ! generación 5 conjuntos de elementos
                  ! (incluido el original), incrementando la
                  ! numeración de los nodos en 1,
                  ! copiando del 1 al 4, tomados de 1 en uno
e,2,1
egen,4,1,21,21,1
egen,5,5,21,24,1
e,1,26
e,6,26
e,7,26
e,2,26
egen,4,1,41,44,1
egen,4,5,41,56,1
e,26,27
egen,3,1,105,105,1
egen,4,5,105,107,1
e,26,31
egen,3,5,117,117,1
egen,4,1,117,119,1
edele,41          ! elimina el elemento 41
edele,90
edele,56
edele,103
eplot             ! dibuja en pantalla los elementos

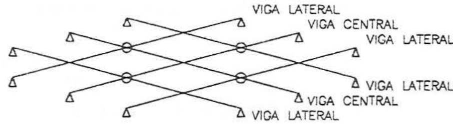
!CONDICIONES DE APOYO
nsel,s,loc,z,0    ! selecciona un subconjunto (s) de nodos
                  ! en coord locales z=0
nsel,r,loc,y,0    ! reselecciona (r) los de y=0
d,all,uz,0        ! especifica coacción en los nodos seleccionados
                  ! al desplazamiento vertical
nsel,all          ! selecciona todos los nodos
nsel,s,loc,z,0
nsel,r,loc,x,0
d,all,uz,0
nsel,all
nsel,s,loc,z,0
nsel,r,loc,x,1000
d,all,uz,0
nsel,all
nsel,s,loc,z,0
nsel,r,loc,y,-1000
d,all,uz,0
nsel,all
d,1,ux,0          ! coacciones para que la estructura no se desplace
d,1,uy,0          ! o gire
d,5,uy,0          !

!CARGAS
nsel,s,loc,y,-250,-750
nsel,r,loc,x,250,750
nsel,r,loc,z,0
f,all,fz,-20      ! aplica cargas puntuales en los nodos seleccionados
                  ! en el sentido del eje Z de valor -20[kN]
nsel,all

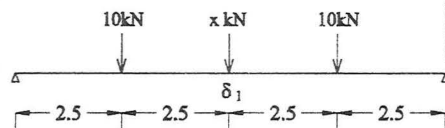
!SALVAR Y SALIR
save              ! salva la base de datos
finish            ! salir del preprocesador
```

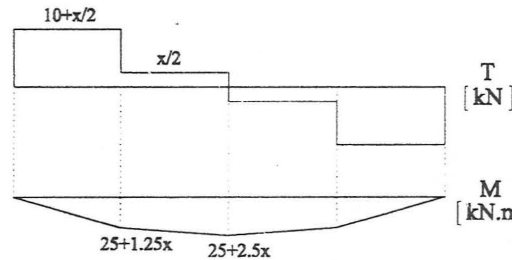
CALCULO MANUAL

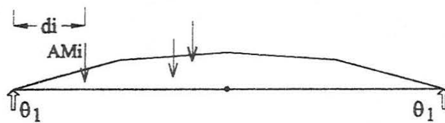
Analizamos el emparrillado como uno de vigas sin rigidez a torsión. Sólo desconocemos como se reparte la carga en un nudo, los otros se reparten a mitades, y compatibilizamos los descensos verticales (flechas). una vez conocidos los diagramas de momentos y cortantes los transformamos en esfuerzos en las barras.



VIGA LATERAL





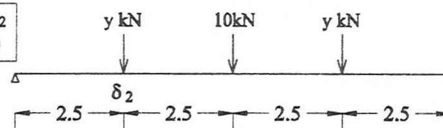


$\delta_1 = \frac{1}{EI}\ \Sigma AM_i d_i = 286.458 + 20.83x$

VIGA CENTRAL

$\delta_1 = \delta_2$

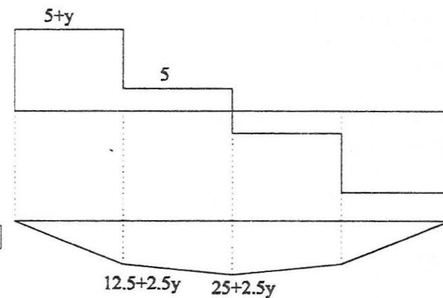
$x + y = 20$

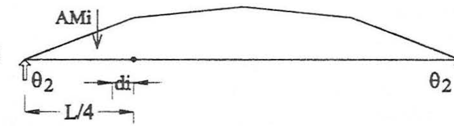


T [kN]

M [kN.m]

M/EI





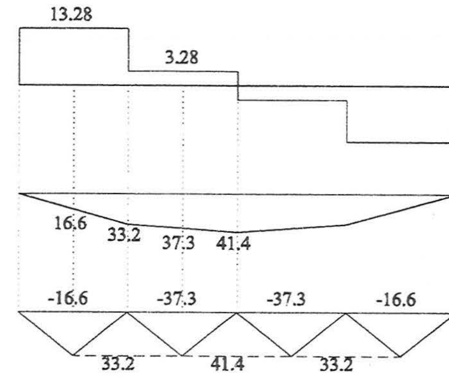
$\delta_2 = \frac{1}{EI}(\theta_2\ L/4 - \Sigma AM_i d_i) = 143.23 + 20.83y$

$\delta_1 = \delta_2$

$x + y = 20$

$x = 6.56kN$ $\quad y = 13.44kN$

VIGA LATERAL



T [kN]

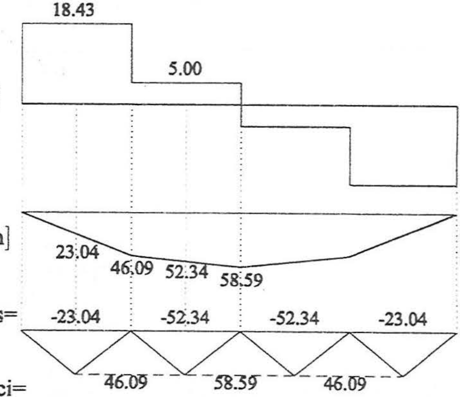
M [kN.m]

=Ncs=

1

=ΣNci=

VIGA CENTRAL



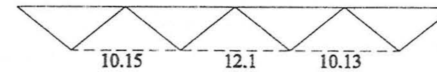
Tiene 2 cordones inferiores, uno de ellos compartido con la viga central, luego el cordón inferioir lateral tendrá unos axiles aproximados de:

$33.2 - \frac{46.09}{2} = 10,15kN$

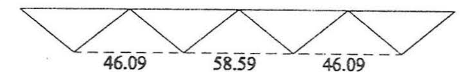
$41.4 - \frac{56.59}{2} = 12.1kN$

como tiene 2 cordones inferiores compartidos con la viga lateral, si suponemos que se llevan la mitad cada viga:

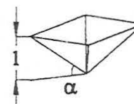
Axiles del cordon inferior lateral



Axiles de los cordones inferiores centrales



DIAGONALES



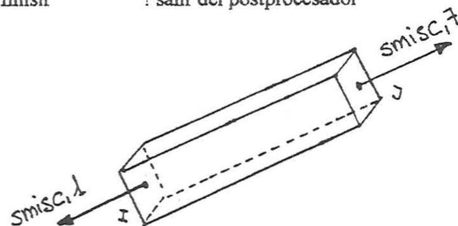
$\alpha = \mathrm{arctg}\ \frac{1}{1.25\sqrt{2}} = 29.5$

$N_d = \frac{T}{2 \mathrm{sen}\ \alpha}$

El axil maximo de las diagonales sera aproximadamente: $N_d = \frac{18.43}{2 \mathrm{sen} 29.5} = \pm 18.71kN$

```
!PROCESADOR DE SOLUCIÓN
solution            ! entra en el procesador de solución
antype, static      ! indica que el tipo de análisis es estático
solve               ! ordena resolver el sistema
finish              ! salir del procesador

!POSTPROCESADOR
!SALIDA E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS
post1               ! entra en el postprocesador
etable,n1,smisc,1   ! realiza la tabla con los valores smisc,1
                    ! (axiles en el nodo i) por elemento
etable,n2,smisc,7   ! ídem, axiles nodo j
set,1,1             ! lee datos de resultados del paso de carga 1
/pbc,rfor,1         ! dibuja las fuerzas de reaccion
pldisp,2            ! muestra la estructura deformada
                    ! y la original de referencia (2)
plls,n1,n2          ! gráfica en elementos lineales
                    ! de los datos de las tablas n1 y n2 [kN]
                    ! axiles en todas las barras
/view,1,0,0,1       ! cambia el punto de vista
/contour,1,9,-50.368,,51.846
                    ! define la escala de colores para las gráficas
                    ! de esfuerzos
esel,s,elem,,1,40   ! selecciona un subconjunto (s) de elementos
                    ! por su numeración (elem), desde el 1 al 40
plls,n1,n2          ! axiles en las barras superiores
esel,all            ! selecciona todos los elementos
esel,s,elem,,105,128 ! barras inferiores
plls,n1,n2
esel,all
esel,s,elem,,41,104 ! diagonales
plls,n1,n2
esel,all
pretab,n1,n2        ! lista los valores de las tablas n1, n2
prrsol,f            ! imprime las reacciones en los nudos (f): fuerzas
prnsol,u            ! imprime desplazamientos (u) en los nodos
finish              ! salir del postprocesador
```



DEFORMADA Y REACCIONES [kN]

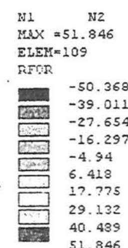
1,23 cm.
13'68
17'64
13'68

AXILES EN BARRAS SUPERIORES [kN]

-1'85
0
-36'94
-17'10
-50'37
-22'05

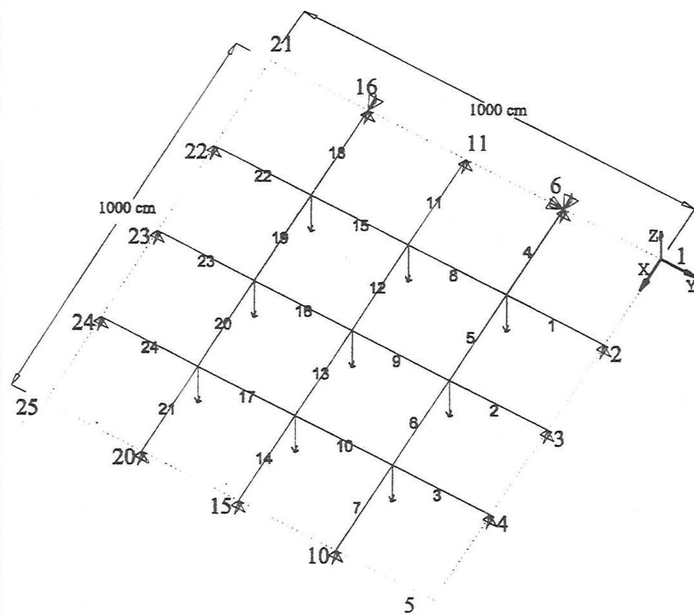
AXILES EN DIAGONALES [kN]

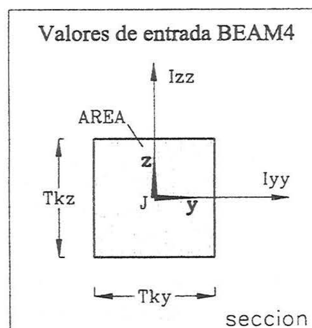
17'91
15'40
12'39
-21'66
-11'66
24'77
12'39
-1'35
7'46
-11'66
15'40
-10'16
1'35
-21'66
17'92



AXILES EN BARRAS INFERIORES [kN]

19'85
15'25
51'85
41'00






```
!PREPROCESADO, INTRODUCCIÓN DE DATOS
/prep7            ! entra en el preprocesador
/view,1,2,3,5     ! define la dirección del punto de vista en la
                  ! ventana 1 con coordenadas (2,3,5)
/vup,1,z          ! especifica la orientación de los ejes globales
                  ! eje Z vertical
/title, EMPARRILLADO DE VIGAS
/pbc,all,1        ! muestra los símbolos de coacciones

!TIPO DE ELEMENTO
et,1,4            ! elemento tipo 1 BEAM4
r,1,118,7260,16060,30,20
                  ! constantes sección 1 (2UPN-300): ÁREA [cm2],
                  ! Izz [cm4], Iyy [cm4], Tkz [cm], Tky [cm]
                  ! toma como inercia a torsión la suma Izz+Iyy
!rmore,,0.01
                  ! añade constantes sección 1:
                  ! Ixx [cm4]
                  ! opción de análisis con inercia a torsión casi nula

!MATERIAL  acero
mp,ex,1,21000  ! modulo de elasticidad [kN/cm2] material 1
mp,nuxy,1,.3   ! coef. de poisson material 1
mp,dens,1,0 ! densidad: no considera el peso propio

!NODOS
n,1,0,0,0         ! define nodo 1 de coordenadas (0,0,0) [cm]
n,5,1000,0,0      ! define nodo 5 de coordenadas (1000,0,0)
fill,1,5          ! genera una línea de nudos entre el 1 y 5
ngen,5,5,1,5,1,0,-250,0
                  ! genera 5 conjuntos de nodos (incluido el original),
                  ! incrementando la numeración en 5, copiando
                  ! del 1 al 5 de 1 en 1, incrementando la X en 0,
                  ! Y en -250, y Z en 0

!ELEMENTOS
type,1            ! asigna el tipo 1 a los siguientes elementos
real,1            ! selecciona las constantes de la sección 1
e,2,7             ! define el elemento del nodo 2 a 7
egen,3,1,1,1,1    ! genera la primera línea de elementos:
               ! 3 conjuntos de elementos (incluido el original),
               ! incrementando la numeración de los nodos en 1,
               ! copiando del 1 al 1 tomado de 1 en 1
e,6,7
egen,4,1,4,4,1
egen,3,5,1,7,1
e,17,22
egen,3,1,22,22,1
/pnum,elem,1      ! activa la numeración de elementos
eplot             ! dibuja elementos

!CONDICIONES DE APOYO
nsel,s,loc,x,0    ! selecciona el subconjunto (s) de nodos
                  ! con coordenada local x=0
nsel,r,loc,y,-250,-750
                  ! reselecciona (r), los nodos de coordenada
                  ! y entre -250 y -750
d,all,uz,0        ! coacción en todos los nodos seleccionados
                  ! al desplazamiento vertical
nsel,all
nsel,s,loc,x,1000
nsel,r,loc,y,-250,-750
d,all,uz,0
nsel,all
nsel,s,loc,y,0
nsel,r,loc,x,250,750
d,all,uz,0
nsel,all
nsel,s,loc,y,-1000
nsel,r,loc,x,250,750
d,all,uz,0
nsel,all
d,6,ux,0      ! coacciones para que la estructura no desplace
d,6,uy,0      ! ni gire
d,16,ux,0     !

!CARGAS
nsel,s,loc,y,-250,-750
nsel,r,loc,x,250,750
f,all,fz,-20      ! aplica cargas puntuales en (all) todos los nodos
                  ! en el sentido del eje Z de valor -20 [kN]
nsel,all

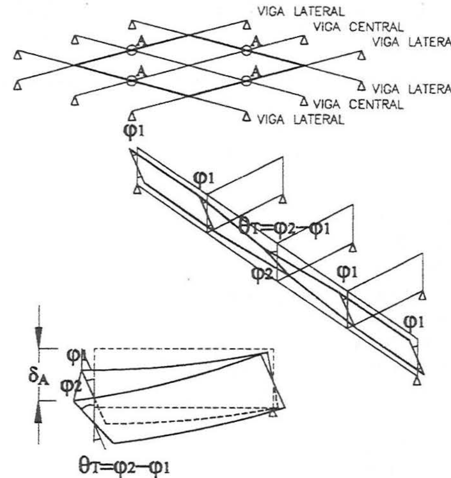
!SALVAR Y SALIR
save
finish            ! salir del preprocesador
```

CALCULO MANUAL

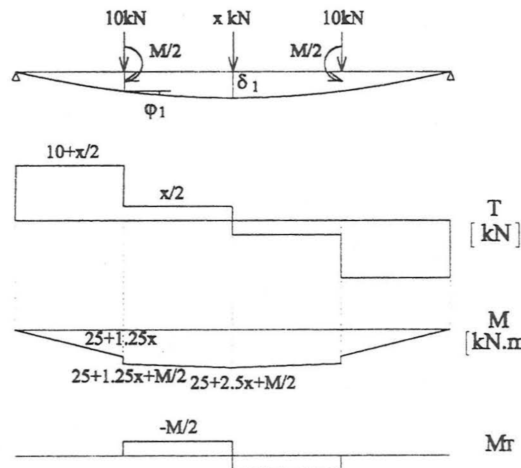
Analizamos el emparrillado con rigidez a torsión. Como las vigas están simplemente apoyadas (solo se coacciona el desplazamiento vertical) y teniendo en cuenta la simetria de la estructura, sólo pueden aparecer torsiones en las vigas señaladas en la figura.

Si dibujamos la deformada nos damos cuenta que el giro a torsión de la viga lateral será la diferencia de los giros a flexión (φ_2-φ_1) de la viga central y lateral.

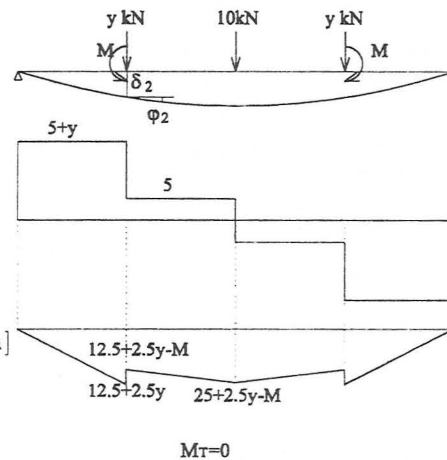
Entonces debemos compatibilizar, además de la flecha vertical en los nodos A (realizado en el ejemplo anterior), el θ_T con la diferencia φ_2-φ_1



VIGA LATERAL



VIGA CENTRAL



T [kN]

M [kN.m]

MT

$$\varphi_2 - \varphi_1 = \theta_T$$
$$\delta_1 = \delta_2$$
$$x+y=20$$

Aplicando como en el ejemplo anterior los teoremas de Mohr:

$$EI\varphi_1 = 62.5 + 4.69x + 1.25M \qquad EI\varphi_2 = 46.875 + 6.25y - 2.5M$$
$$EI\delta_1 = 286.46 + 20.83x + 4.69M \qquad EI\delta_2 = 143.23 + 20.83y - 6.25M$$

El giro a torsión valdrá:

$$\theta_1 = \frac{AM_T}{GI_T} = \frac{M/2\ L/4}{\frac{E}{2(1+\nu)}\ 1{,}45I} = \frac{2{,}241M}{EI}$$

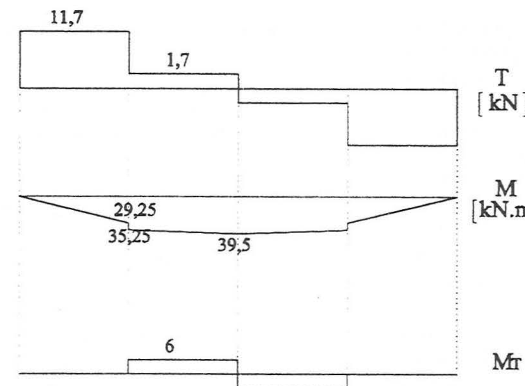
$\varphi_2 - \varphi_1 = \theta_T$	$-4{,}69x + 6{,}25y - 6M = 15{,}625$
$\delta_1 = \delta_2$	$-20{,}83x + 20{,}83y - 10{,}94M = 143{,}23$
$x+y=20$	$x + y = 20$

Resolviendo el sistema planteado queda:

M=12.0 kN.m x=3,40 kN y=16,60kN

Y los diagramas de cortantes, momentos flectores y torsores:

VIGA LATERAL

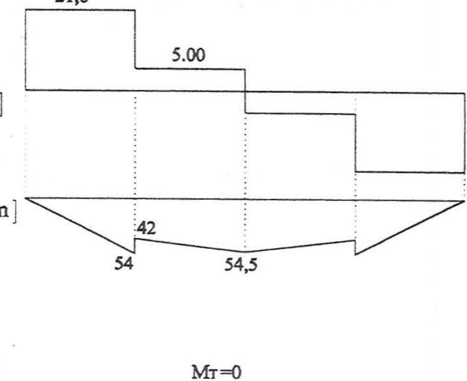


T [kN]

M [kN.m]

MT

VIGA CENTRAL



Los descensos en A y el máximo son:

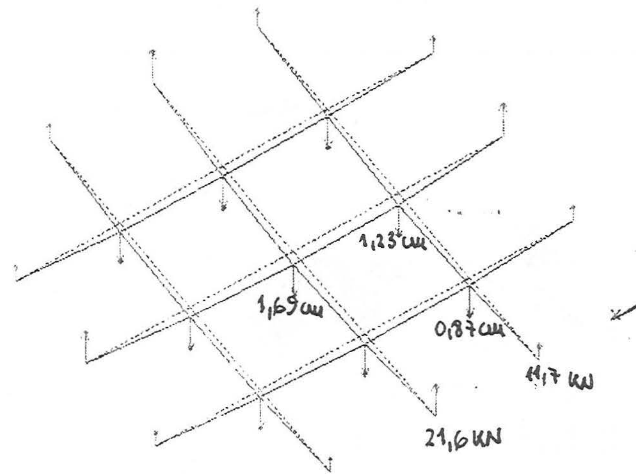
$$\delta_A = \frac{411.39}{EI} = 1{,}22 \text{ cm.}$$

$$\delta_{max} = \frac{565.2}{EI} = 1{,}68 \text{ cm.}$$

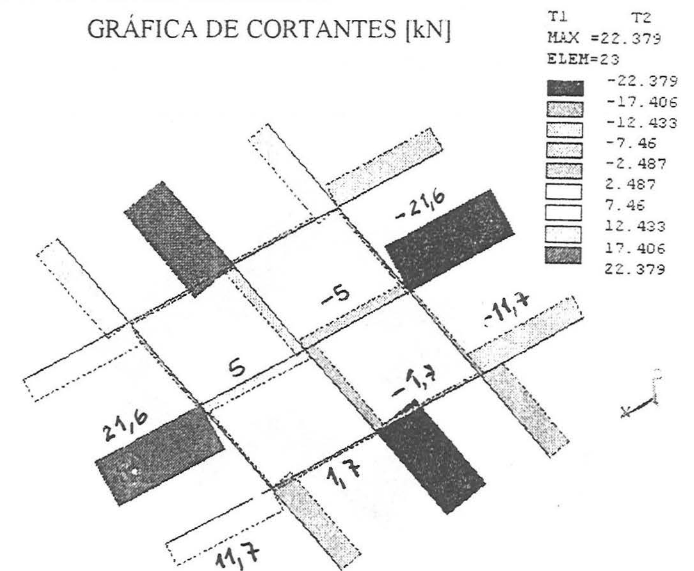
```
!PROCESADOR DE SOLUCIÓN
solution          ! entra en el procesador de solucion
antype, static    ! indica que el tipo de análisis es estático
solve             ! ordena resolver el sistema
finish            ! salir del procesador

!POSTPROCESADOR
!SALIDA E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS
post1             ! entra en el postprocesador
etable,mf1,smisc,5  ! tabla con los momentos flectores del
                    ! nudo i del elemento [kN.cm]
etable,mf2,smisc,11 ! ídem, nudo j
etable,mt1,smisc,4  ! tabla con los momentos torsores del
                    ! nudo i del elemento
etable,mt2,smisc,10 ! ídem, nudo j
etable,t1,smisc,3   ! tabla con los cortantes del nudo i
etable,t2,smisc,9   ! ídem, nudo j
set,1,1             ! lee datos de resultados del paso de carga 1
pbc,rfor,1          ! dibuja las fuerzas de reaccion
pldisp,2            ! muestra la estructura deformada
                    ! con la estructura original de base (2)
smult,mfa,mf1,,-0.01
                    ! crea la tabla mfa como resultado de
                    ! multiplicar los valores de mf1 por -0.01
                    ! escala los momentos a [kN.m]
smult,mfb,mf2,,-0.01
smult,mta,mt1,,-0.01
smult,mtb,mt2,,-0.01
plls,mfa,mfb      ! gráfica en elementos lineales
                  ! de los datos de las tablas de momentos flectores
plls,mta,mta      ! gráfica de momentos torsores
plls,t1,t2        ! gráfica de cortantes
prrsol,f          ! imprime las reacciones en los nudos, (f): fuerzas
presol,f          ! imprime los esfuerzos de los elementos
                  ! (f): fuerzas en el sentido de los ejes X, Y, Z,
prnsol,u          ! imprime desplazamientos (u) en los nodos
pretab,mta,mtb,mta,mtb,t1,t2
                  ! imprime los datos de las tablas relacionadas
finish            ! salir del postprocesador
```

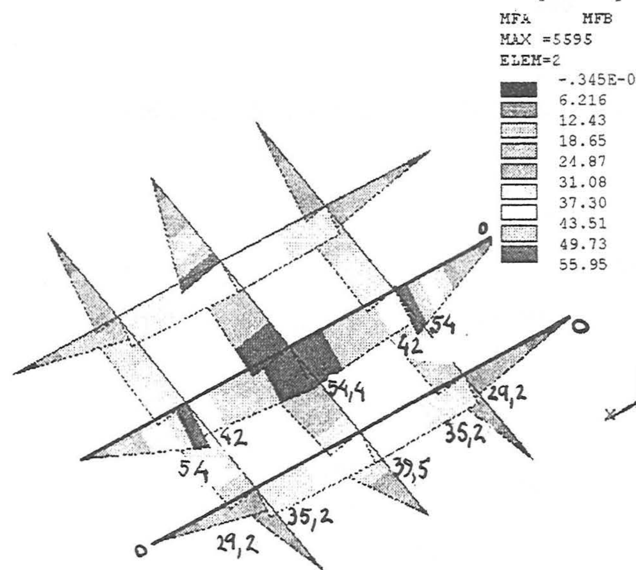
SOLUCIÓN 1: Inercia a torsión = Izz+Iyy



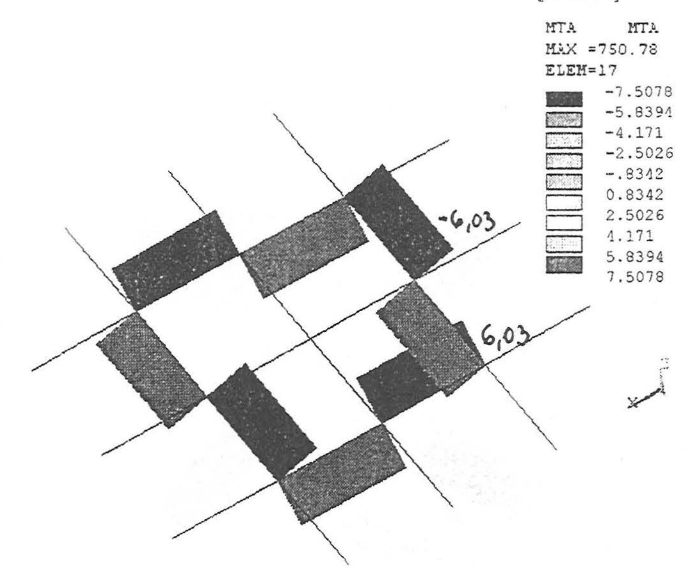
GRÁFICA DE CORTANTES [kN]



GRÁFICA DE MOMENTOS FLECTORES [kN. m]

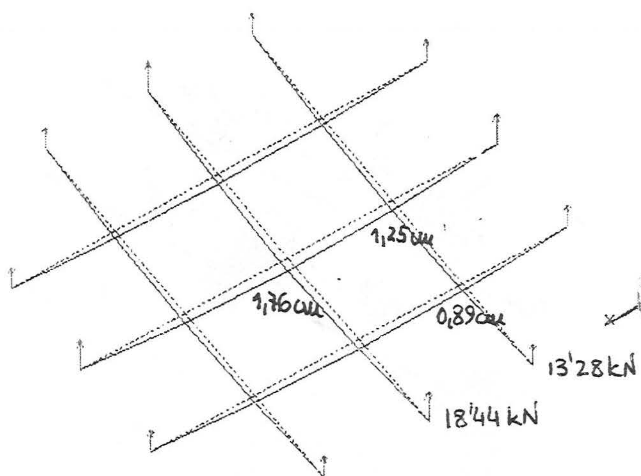


GRÁFICA DE MOMENTOS TORSORES [kN. m]

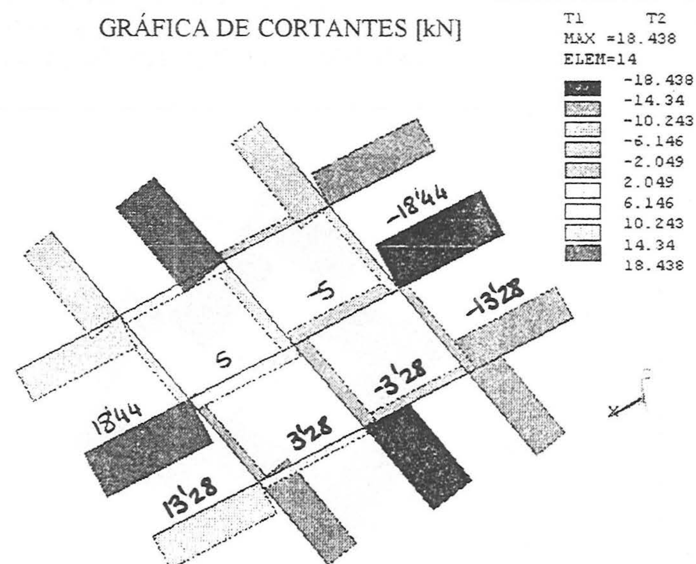


SOLUCIÓN 2: Inercia a torsión casi nula

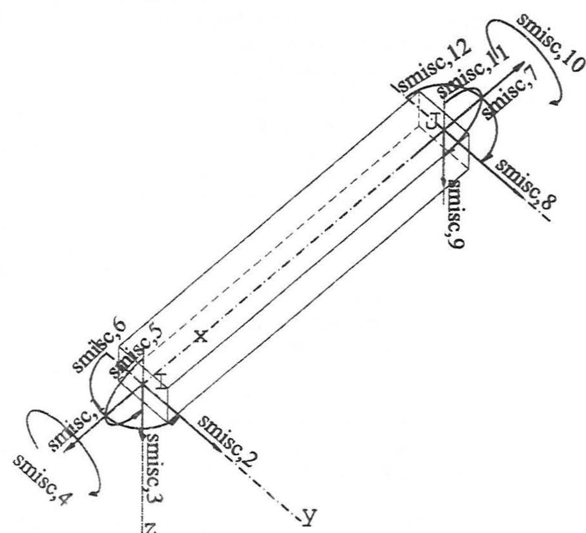
DEFORMADA Y REACCIONES [kN]



GRÁFICA DE CORTANTES [kN]

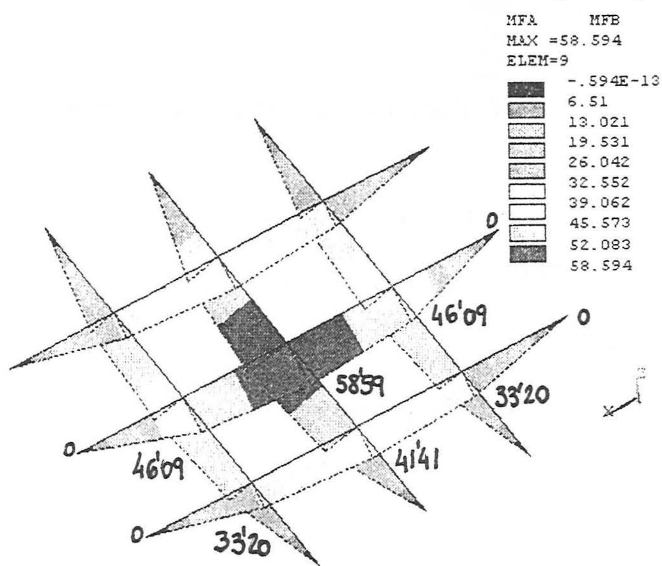


BEAM4 algunos argumentos para etable

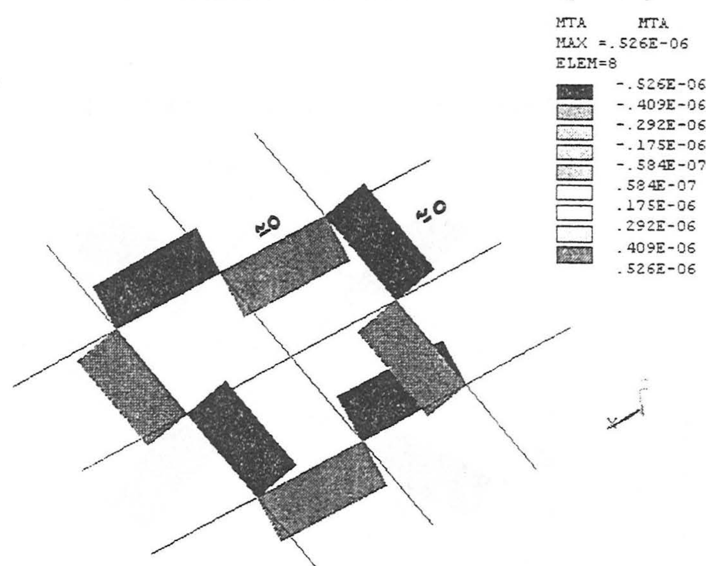


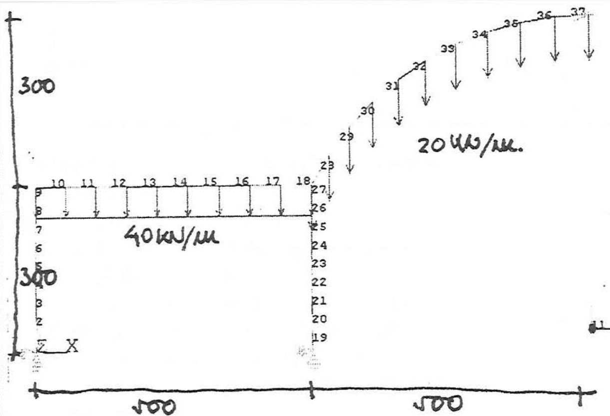
BEAM4	nodo I	nodo J	
smisc	1	7	esfuerzo axil x
smisc	2	8	esfuerzo cortante y
smisc	3	9	esfuerzo cortante z
smisc	4	10	momento torsor x
smisc	5	11	momento flector y
smisc	6	12	momento flector z

GRÁFICA DE MOMENTOS FLECTORES [kN. m]



GRÁFICA DE MOMENTOS TORSORES [kN. m]





PORTICO COMPLEJO

```
 !PREPROCESADO, INTRODUCCIÓN DE DATOS
/prep7          ! Entra en el preprocesador
/window,1,full  ! define el numero y
                ! tamaño de las ventanas gráficas
/view,1,0,0,1   ! Define el pto. de vista
                ! desde el eje Z
/vup,1,y        ! eje Y vertical
/title,PORTICO COMPLEJO

 !TIPO DE ELEMENTO
et,1,24,,,1     ! elemento BEAM24. Este
                !elemento admite cálculo plás
                !tico. Perfil abierto.
r,1,-8,-8,0,8,-8,1.0
rmore,0,-8,0,0,8,.8
rmore,8,8,0,-8,8,1.0
                ! constantes de la sección tipo 1
                ! Se introducen puntos de la sec-
                ! ción: y1,z1,e1,y2,z2,e2,.....
r,2,-5,-5,0,5,-5,.9
rmore,0,-5,0,0,5,.5
rmore,5,5,0,-5,5,.9
                ! constantes de la sección tipo 2
 !MATERIAL
mp,ex,1,21e3    ! modulo de elasticidad en
                ![KN/cm2] acero
mp,nuxy,1,.3    ! coef. de poisson
mp,dens,1,0     ! densidad: sin peso propio
tb,bkin,1,1     ! Activa una tabla de datos
                ! del material 1 con comportamien
                !to plástico bilineal.
tbtemp,0        !Define una temperatura para
                !la tabla de datos
tbdata,1,26,0   !Define los valores de la tabla
                !de datos del material 1: Límite
                !elástico (26kN/cm2) y pdte. del
                !diagrama tensión-deformación en
                !periodo plástico (horizontal).
tbplot          !Dibuja la gráfica de tensión-de
                !formación del material definido.

 !NODOS
n,1,0,0         !Define nodo 1 de coord. (0,0)
n,10,0,300      !Define nodo 10 de coordenadas
                !(0,300) [cm]
fill,1,10       ! genera una línea de nodos
                !entre el 1 y el 10
n,19,500,300
fill,10,19
n,28,500,0
fill,19,28
n,40,1000,33
local,11,1,1000,33! cambia a sistema de coorde
                !nadas locales 11: numero arbitrario a
                !elegir >10, 1: sistema de coordenadas
                !cilíndricas, origen respecto al sistema
                !original en (1000,33)
n,30,567,145.72 !Define el nodo 30 en coorde
                !nadas cilíndricas, radio=567cm. y
                !ángulo=145.72°
n,39,567,90
fill,30,39


 !ELEMENTOS
/eshape,1       ! Dibuja los elementos por la
                !forma determinada por las constantes
                !reales de la sección.(1) dibuja la
                !forma real.
type,1          ! asigna el tipo 1 a los
                !siguientes elementos
real,2          ! selecciona las constantes de
                !la sección 2: pilar
e,1,2,20        ! define el elemento del nodo 1 a 2,
                !y orientación según el nodo 20, (eje
                !Z en el plano 1-2-20)
*repeat,9,1,1   !repite 9 veces la orden anterior
                !incrementando en 1 los dos primeros
                !valores y dejando el último valor
                !constante.
real,1          ! selecciona las constantes de
                !la sección 1: viga
e,10,11,1
*repeat,9,1,1
real,2          ! selecciona las constantes de
                !la sección 2: pilar
e,28,27,40
*repeat,9,-1,-1
real,1          ! selecciona las constantes de
                !la sección 1: arco
e,19,30,40
e,30,31,40
*repeat,9,1,1
/pnum,elem,1    ! activa la num. de elementos
eplot           ! dibuja elementos

 !CONDICIONES DE APOYO
csys,0          !Activa el sistema de coorde
                !nadas cartesiano.
nsel,s,loc,y,0  ! selecciona un subconjunto
                !(s) de nodos de coordenadas
                !(loc) y=0
d,all,all,0     ! coacciona todos los nodos selec
                !cionados, todos sus desplazamien
                !tos y giros (all) sean nulos.
nsel,all        ! selecciona todos los nodos
nsel,s,node,,39 ! selecciona el nudo 39
d,all,rotz,0    ! coacciona que el giro sobre
                !el eje Z sea nulo
d,all,ux,0      !coacciona que el desplazamiento
                !en el eje X sea nulo
nsel,all
save
finish
```

```
 !PROCESADOR DE SOLUCION
/solu
antype,static

 !CARGAS
/pbc,all,1
esel,s,elem,,10,18,1 !selecciona subconjunto
        !(s) de elementos cuya numeración
        !(elem) vaya de 10 a 18 tomados
        !de 1 en 1
sfbeam,all,1,pres,-.4
                ! aplica cargas continuas en ele
        ! mentos tipo beam, todos los se
        ! leccionados (all), direccion
        ! -Z (1), presión (pres) de valor
        ! 0.4 [KN/cm]
esel,all   ! selecciona todos los elementos
f,19,fy,-3.32 ! aplica una carga puntual en
        ! el nodo 19 en el sentido del
        ! eje Y de valor -3.32 [KN]
f,30,fy,-7.15 ! en todos los nodos del arco
f,31,fy,-8.14
f,32,fy,-9.005
f,33,fy,-9.85
f,34,fy,-10.4
f,35,fy,-11.12
f,36,fy,-11.58
f,37,fy,-11.91
f,38,fy,-12.11
f,39,fy,-6.09
outres,all,all !escribe todas las soluciones
       !de todos los pasos de carga
!outpr,basic,last
/output,por1  !escribe los datos de solución
       !en un archivo llamado "por1"
neqit,100     !especifica el número máximo
       !de iteracciones de equilibrio para
       !análisis nolineal.
ncnv,0  ! No termina el análisis aunque la
       ! solución no converga.
!outres,eppl,1
cnvtol,u  !Criterio de convergencia basado
        !en desplazamientos
cnvtol,rot !Criterio de convergencia basado
        !también en giros.
nsubst,80  !Número de pasos de carga(40).
        !Aplica la carga total poco a poco,
        !dividiéndola en 40 pasos de carga.
solve
finish

!POSTPROCESADOR
 !SALIDA E INTERPRETACIàN DE RESULTADOS
/post1
*ask,pt,¿GRAFICA DE MOMENTOS:SEGUIR?
*do,ciclo,40,76   !realiza un bucle hasta la
        !orden *enddo, con una variable de
        !control llamada ciclo (1-38)
set,1,ciclo !establece el paso de carga
etable,m11,smisc,5! prepara la tabla denomina
        !da m11 con los flectores [KN.cm]
        !en el eje Y del elemento en el
        ! nudo i
etable,m21,smisc,11     ! ¡dem nudo j
smult,ma1,m11,,-1
smult,mb1,m21,,1 ! crea la tabla mb1 como
        !resultado de multiplicar los
        !valores de m21 por 1
/contour,1,9,-7600,,7600 !Establece la esca
        !la gráfica con 9 colores y
        !valores mínimos y máximos de
        !-7600 y 7600
*get,escala1,elem,14,smisc,11
        !asigna a la variable escala1 el
        !valor de smisc(11) del elemento
        !14 (Momento máximo en el vano)
*set,esc1,(2*escala1/(-7600))
        !asigna a la variable esc1 una
        !función de escala1
plls,ma1,mb1,esc1
!*ask,pa,¿SIGUIENTE PASO DE CARGA?
!pretab,ma1,mb1
*enddo

!POSTPROCESADOR
 !SALIDA E INTERPRETACIàN DE RESULTADOS
/post1
*ask,pt,¿GRAFICA DE TENSIONES: SEGUIR?
*do,ciclo,40,76
set,1,ciclo
etable,smax1,nmisc,1
etable,smax2,nmisc,3
etable,smin1,nmisc,2
etable,smin2,nmisc,4

!/contour,1,9,-26,,26
/CVAL,1,-25,-24,-10,-5,5,10,25,26
*get,escala2,elem,14,nmisc,3
*set,esc1,(1.5*escala2/26)
/erase
plls,smax1,smax2,esc1
/noerase
plls,smin1,smin2,esc1
!*ask,pt,¿SIGUIENTE PASO DE CARGA?
/erase
!/contour,1,9,auto
!pretab,smax1,smin1,smax2,smin2
*enddo

!POSTPROCESADOR
 !SALIDA E INTERPRETACIàN DE RESULTADOS
/post1
/pnum,elem,0
/pnum,node,0
*ask,pt,¿DEFORMADA:SEGUIR?
*do,ciclo,40,76
set,1,ciclo
/dscale,1,10
pldisp,2
!*ask,pa,¿SIGUIENTE PASO DE CARGA?
!prdisp
*enddo

!POSTPROCESADOR
 !SALIDA E INTERPRETACIàN DE RESULTADOS
/post1
*ask,pt,¿GRAFICA DE NORMALES:SEGUIR?
*do,ciclo,40,76
set,1,ciclo
etable,n11,smisc,1        ! prepara la tabla denominada m1
                        ! con los flectores [N.mm] en
                        ! el eje Z del elemento en el nudo i
etable,n21,smisc,7      ! ¡dem nudo j
smult,na1,n11,,-1        ! crea la tabla ma como resultado de
                        ! multiplicar los valores de m1 por -1
smult,nb1,n21,,1
/contour,1,9,-210,,0
*get,escala1,elem,20,smisc,1
*set,esc1,(2*escala1/(-210))
```

```
plls,na1,nb1,esc1
!pretab,na1,nb1
*enddo

!POSTPROCESADOR
 !SALIDA E INTERPRETACIàN DE RESULTADOS
/post1
*ask,pt,¿GRAFICA DE CORTANTES:SEGUIR?
*do,ciclo,40,76
set,1,ciclo
etable,t11,smisc,3      ! prepara la tabla denominada m1
                        ! con los flectores [N.mm] en
                        ! el eje Z del elemento en el nudo i
etable,t21,smisc,9      ! ¡dem nudo j
smult,ta1,t11,,-1       ! crea la tabla ma como resultado de
                        ! multiplicar los valores de m1 por -1
smult,tb1,t21,,1
/contour,1,9,-110,,110
*get,escala1,elem,18,smisc,9
*set,esc1,(2*escala1/(-110))
plls,ta1,tb1,esc1
!pretab,ta1,tb1
*enddo
```

ANSYS 5.3
MAR 10 1999
15:19:29
LINE STRESS
STEP=1
SUB =78
TIME=.975
MA1 MB1
MAX =7584
ELEM=14
-7600
-5911
-4222
-2533
-844.444
844.444
2533
4222
5911
7600

-2570 -7624 -6097 7551 -1527 2515 7591 1950

PORTICO COMPLEJO

GRAFICA DE MOMENTOS [Kn.cm]

ANSYS 5.3
MAR 10 1999
15:40:44
LINE STRESS
STEP=1
SUB =78
TIME=.975
SMIN1 SMIN2
MAX =-2.516
ELEM=32
-26
-25
-24
-10
-5
5
10
25
26

LINE STRESS
STEP=1
SUB =78
TIME=.975
SMAX1 SMAX2

26 26 -26 25 -26 26 -26 -26 24,5 -26 13 -26 26

PORTICO COMPLEJO

GRAFICA DE TENSIONES [KN/CM2]

11,78 19,14

PORTICO COMPLEJO

DEFORMADA

ANSYS 5.3
MAR 10 1999
15:45:46
LINE STRESS
STEP=1
SUB =78
TIME=.975
NA1 NB1
MAX =-18.787
ELEM=16
-210
-186.667
-163.333
-140
-116.667
-93.333
-70
-46.667
-23.333
-.107E-13

-29 -94 -17 -88 -198

PORTICO COMPLEJO

GRAFICA DE NORMALES [KN]

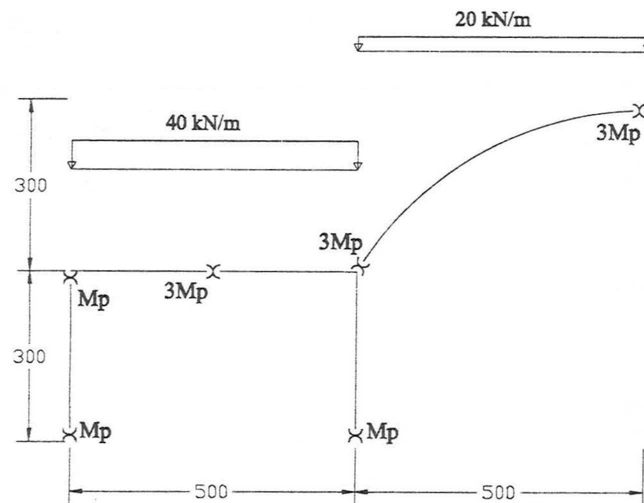
ANSYS 5.3
MAR 10 1999
15:49:11
LINE STRESS
STEP=1
SUB =78
TIME=.975
TA1 TB1
MAX =90.36
ELEM=10
-110
-85.556
-61.111
-36.667
-12.222
12.222
36.667
61.111
85.556
110

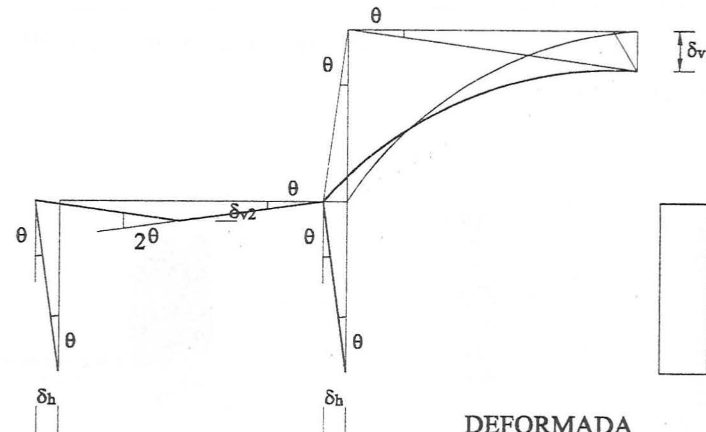
4,23 34,5 88 23,2 102 16,95 11,6

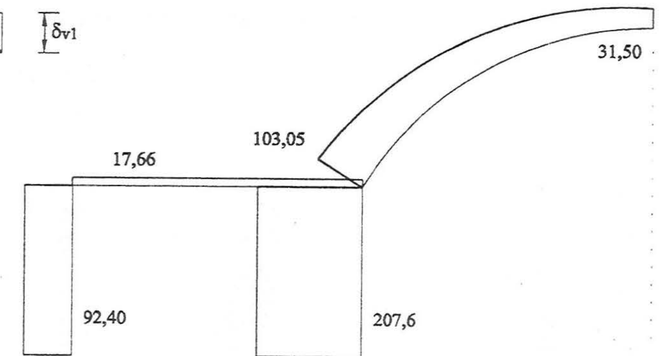
PORTICO COMPLEJO

GRAFICA DE CORTANTES [KN]

SOLICITACIONES A ROTURA







$\times$ ROTULAS PLASTICAS

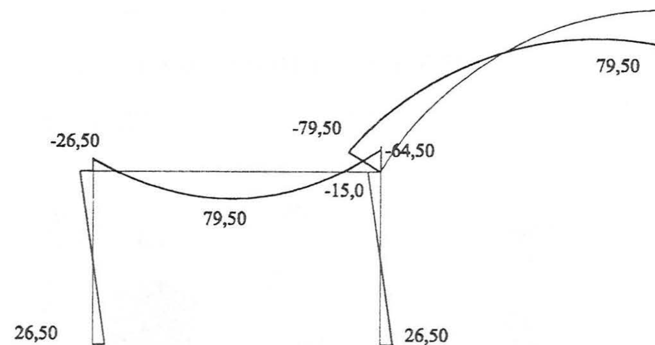
$$\theta = \frac{\delta_{v1}}{5} = \frac{\delta_{v2}}{2.5} = \frac{\delta_h}{3}$$

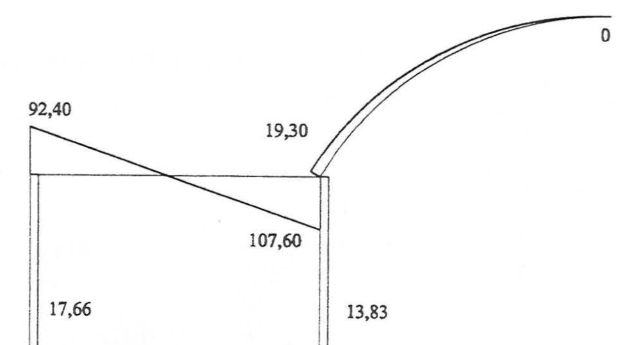
$$W^*_{ext} = 20\;5\;\frac{\delta_{v1}}{2} + 40\;5\;\frac{\delta_{v2}}{2} = 500\;\theta$$

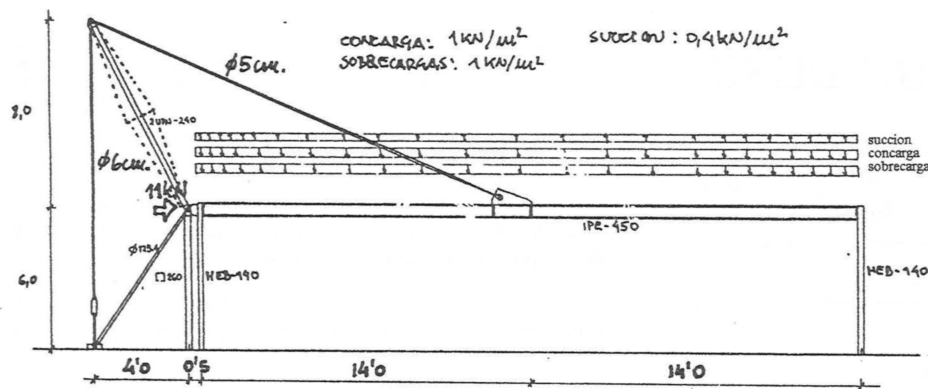
$$W^*_{int} = 4\,Mp\,\theta + 3Mp\,2\,\theta + 3\;3Mp\,\theta = 19Mp\,\theta$$

Mp = 26,50 [kN.m]

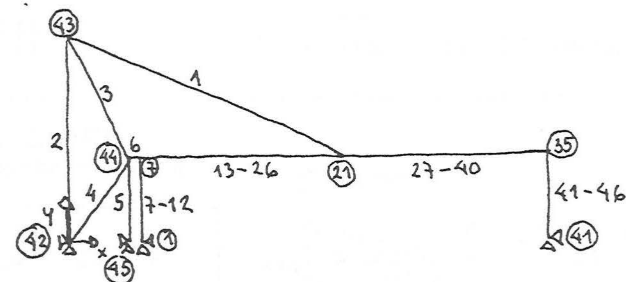
3Mp = 79,50 [kN.m]



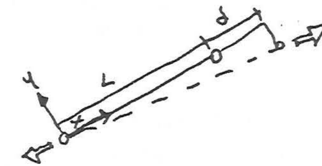




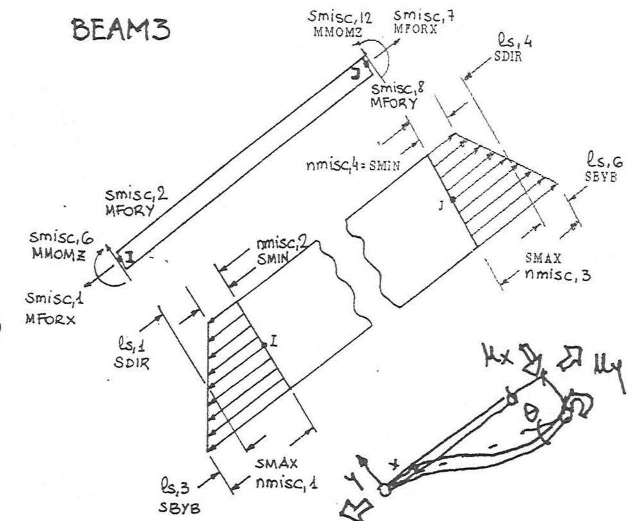
EJES, NODOS Y ELEMENTOS



LINK1



BEAM3




```
!PREPROCESADO, ENTRADA DE DATOS
/prep7
/window,1,full
/view,1,0,0,9
/vup,1,y
/title, PORTICO ATIRANTADO

!TIPOS DE ELEMENTOS
!unidades: kN y cm
et,1,1          ! elemento tipo 1 LINK1,
                ! 2 nodos, plano,
                ! solo con rigidez a esfuerzos axiles
                ! admite pretensado o
                ! acortamiento inicial
r,1,19.63       ! constantes para la sección 1
                ! ÁREA: ϕ 5cm.
r,2,28.27       ! constantes para la sección 2
                ! ÁREA: ϕ 6cm.
r,3,84.6        ! constantes para la sección 3
                ! ÁREA: 2 UPN-240
r,4,15.2        ! constantes para la sección 4
                ! Tubo 125.4
r,5,96.6        ! constantes para la sección 5
                ! ÁREA: 2 UPN-260
r,6,41          ! constantes para la sección 6
et,2,3          ! elemento tipo 2 BEAM3,
                ! 2 nodos, plano,
                ! rigidez a esfuerzos normales y a
                ! flexion en un plano
r,7,43,1,14     ! sección 7 HEB-140
                ! ÁREA, Izz, HEIGHT
r,8,98.8,33740,4 ! sección 8 IPE-450
                ! ÁREA, Izz, HEIGHT

!MATERIALES
mp,ex,1,21000                   ! [kN/cm2]
        ! modulo de elasticidad material 1
mp,ex,2,21000                   ! [kN/cm2]
        ! modulo de elasticidad material 2

!NODOS
n,1,450,0  ! define nodo 1
           ! de coordenadas (450,0) [cm]
n,7,450,600
n,35,3250,600
n,41,3250,0
fill,1,7  ! genera una línea de nudos entre el 1 y 7
fill,7,35
fill,35,41
n,42,0,0
n,43,0,1400
n,44,400,600
n,45,400,0
/pnum,node,1      ! activa la numeración de nodos
nplot

!ELEMENTOS
type,1      ! asigna tipo 1 a los siguientes elementos
real,1      ! selecciona las constantes de la sección 1
e,43,21     ! define el elemento del nodo 43 al 21
real,2      ! selecciona las constantes de la sección 2
e,42,43
real,3      ! selecciona las constantes de la sección 3
e,43,44
real,4
e,42,44
real,5
e,44,45
real,6
e,44,7

type,2      ! asigna tipo 2 a los siguientes elementos
real,7
e,1,2
egen,6,1,7,7,1
real,8
e,7,8
egen,28,1,13,13,1
real,7
e,35,36
egen,6,1,41,41,1
/pnum,node,0
        ! desactiva la numeración de nodos
/pnum,elem,1
        ! activa la numeración de elementos
eplot

!CONDICIONES DE APOYO
/pbc,all,1          ! muestra los símbolos de
coacciones
nsel,s,loc,y,0      ! selecciona un subconjunto (s)
        ! de nodos de coordenada y=0
d,all,ux,0  ! impide desplazamiento horizontal
d,all,uy,0  ! impide desplazamiento vertical
nsel,all            ! selecciona todos los nodos

!SALVAR Y SALIR
save
finish
```

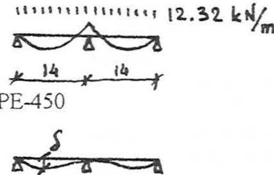
ANÁLISIS MANUAL:

1.- PREDIMENSIONADO

VIGA: Se predimensiona a rotura, con la carga total y apoyo intermedio. Se limita la flecha a 1/300 de 14 metros.

$M = \frac{ql^2}{11,67} = 207$ kN.m $W > 1193 cm^3$

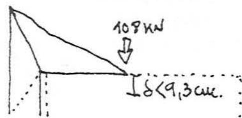
$\delta = \frac{ql^4}{185EI} < 4$ cm $I > 30456 cm^4$ IPE-450



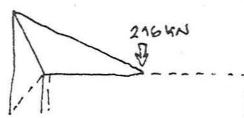
ESTRUCTURA DE CABLES: Se predimensiona a deformación; sólo con la sobrecarga y limitando el descenso a 1/300 de 28m. (La carga puntual será la reacción de la viga cargada con la sobrecarga).

Se comprueba a resistencia con la carga total. (La carga puntual será la reacción de la viga con la carga total)

DEFORMACIÓN



RESISTENCIA



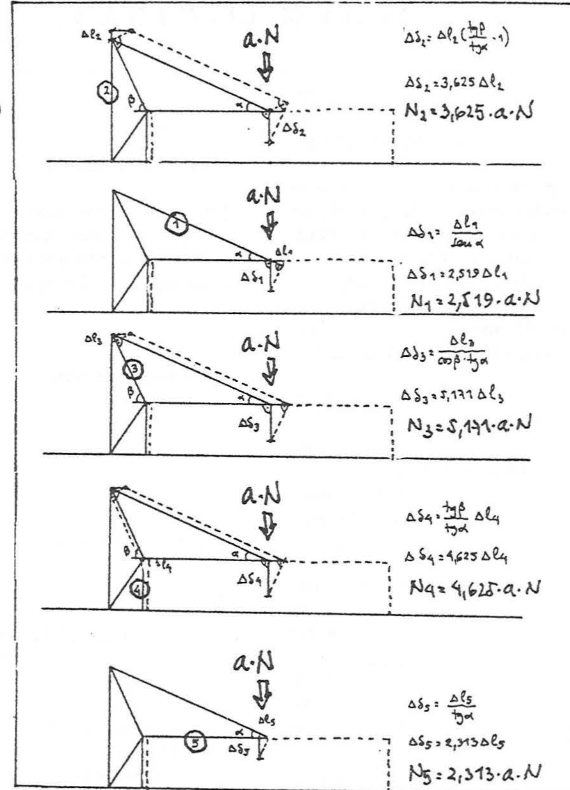
PILARES: Se predimensionan a pandeo con la carga total más el momento debido al viento en la fachada (dependerá del diseño del alzado).

MONTANTE INFERIOR: Se predimensiona a deformación y pandeo para la fuerza de viento.

En el montante superior se ha suplementado el perfil, con tirantes para aumentar su inercia (y por lo tanto su radio de giro) y evitar el pandeo.

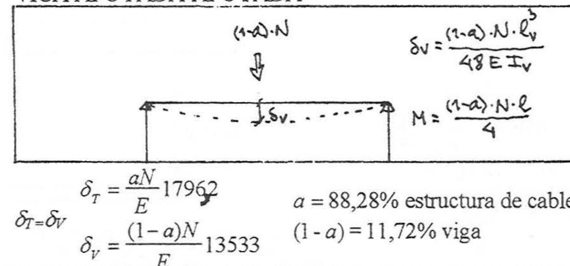
2.- COMPATIBILIDAD DE DEFORMACIONES

ESTRUCTURA DE CABLES



$$\delta_T = \sum \Delta\delta_n = \sum \gamma_n \Delta l_n = \sum \frac{\gamma_n N_n l_n}{E.A_n} = \frac{aN}{E} \sum \frac{\gamma_n^2 l_n}{A_n}$$

VIGA APOYADA-APOYADA



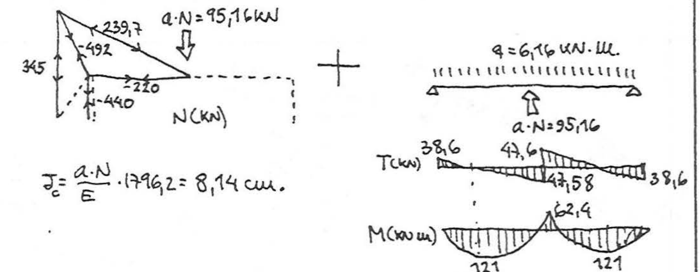
$\delta_T = \delta_V$

$\delta_T = \frac{aN}{E} 1796,2$ $a = 88,28\%$ estructura de cables

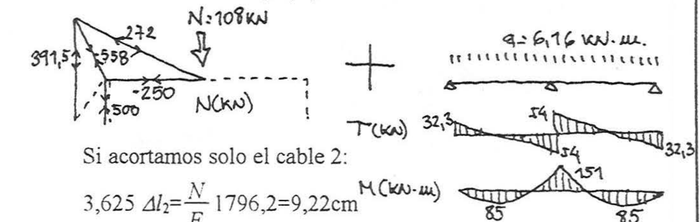
$\delta_V = \frac{(1-a)N}{E} 13533$ $(1 - a) = 11,72\%$ viga

3.- ANÁLISIS

PESO PROPIO: (q=6,16kN/m) N=108kN (a= 0,8828)



PESO PROPIO Y PRETENSADO: Se pretensa la estructura de cables para anular el descenso en el centro de la viga. Solo se acorta el cable vertical. La estructura de cables se llevará toda la reacción de la viga (N).



Si acortamos solo el cable 2:

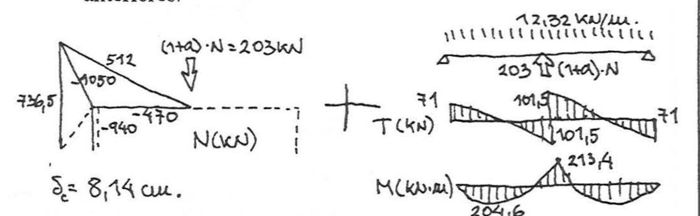
$3,625\ \Delta l_2 = \frac{N}{E} 1796,2 = 9,22$cm

$\Delta l_2 = 2,54$cm luego $\varepsilon = 2,54/1400 = 1,817\ 10^{-3}$

CARGA TOTAL Y PRETENSADO:

$q_t = 2q = 2 \cdot 6,16 = 12,32$ kN/m

Como en este caso la carga de peso propio es igual a la de sobrecargas sólo tendríamos que sumar las 2 hipótesis anteriores:



8.16
345.1
239.8
-492.2
-220.1
-38.6
-440
-38.6
δ[cm]
N[kN]
-62.69
121
121
47.6
38.6
38.6
47.6
P-5: Peso propio
M[kN.m]
T[kN]

```
!CASO1: PESO PROPIO
 !RESOLUCIÓN
/solution
antype,static
 !cargas de peso propio
esel,,13,40
          ! selecciona los elementos
          ! desde el 13 al 40
sfbeam,all,1,pres,0.0616       ! [kN/cm]
          ! aplica cargas continuas en
          ! elementos tipo beam, todos los
          ! seleccionados (all), clave
          ! asociada (1), presión (pres) de
          ! valor 0.0616
esel,all  ! selecciona todos los elementos
 !resolución
solve     ! ordena resolver el sistema
finish    ! salir del procesador de solución

 !RESULTADOS
/post1
/pnum,elem,0   ! desactivan la numeración
/pnum,node,0   ! de elementos y nodos
/window,1,ltop ! define la ventana 1
               ! en el cuarto superior izq
/title,P-5: Peso propio
/stitle,1,P-5-P.PROPIO
          ! define un subtítulo,
          ! aparecerá en los listados
pldisp,1  ! muestra la estructura deformada
          ! y la original de referencia (1)
/noerase  ! instrucción para que no se borre
          ! la pantalla
/window,1,off     ! desactiva la ventana 1
etable,N11,smisc,1   ! axiles en el nodo i
etable,N21,smisc,7   ! axiles en el nodo j
etable,T11,smisc,2   ! cortante en i
etable,T21,smisc,8   ! cortante en j
etable,M11,smisc,6   ! momento en i
etable,M21,smisc,12    ! momento en j
etable,S11,nmisc,1   ! tensión máxima en i
etable,S31,nmisc,3   ! tensión máxima en j
etable,S21,nmisc,2   ! tensión mínima en i
etable,S41,nmisc,4   ! tensión mínima en j
smult,Ma1,M11,,-.01
                     ! escala los momentos
smult,Mb1,M21,,-.01
pretab,n11,n21,t11,t21,ma1,mb1,s11,s21
          ! imprime los datos de las tablas
          ! relacionadas
/window,2,rtop       ! define la ventana 2
          ! en el cuarto superior derecho
plls,N11,N11   ! gráfica axiles [kN]
/window,2,off  ! desactiva la ventana 2
/window,3,lbot ! define la ventana 3
          ! en el cuarto inferior izquierdo
plls,Ma1,Mb1   ! gráfica momentos [kN/cm]
/window,3,off  ! desactiva la ventana 2
/window,4,rbot       ! define la ventana 4
          ! en el cuarto inferior derecho
plls,T11,T21   ! gráfica cortantes [kN]
/window,all,on ! activa todas las ventanas
finish    ! salir del postprocesador
```

4.7
2.44
8.14
45.7
31.76
-65.19
6.3
-29.15
6.3
-58.3
δ [cm]
N [kN]
-88.24
6.3
6.3
P-5: Acortamiento
M[kN.m]
T [kN]

```
!CASO2: ACORTAMIENTO
/prep7    ! entra en el preprocesador
/erase
/title,P-5: Acortamiento
/window,all,off
          ! desactiva todas las ventanas
/window,1,on   ! activa la ventana 1

 !CAMBIOS EN LA CREACIÓN DEL
 !MODELO
et,1,1    ! elemento tipo 1 LINK1
r,2,28.27,0.001817
          ! redefine las constantes para
          ! la sección 2, ÁREA φ 6cm,
          ! ISTRN deformación inicial
          ! dada por ΔL/L,
 !SALVAR Y SALIR
save
finish

 !RESOLUCIÓN
/solution
antype,static ! análisis de tipo estático
 !cargas: anula el peso propio
esel,,13,40
sfbeam,all,1,pres,0
esel,all
 !resolución
solve
finish
 !RESULTADOS
/post1
/window,1,ltop
/stitle,1,P-5-ACORTAMIENTO
          ! define un subtítulo
pldisp,1  ! muestra la estructura deformada
          ! y la original de referencia (1)
/noerase  ! instrucción para que no se borre
          ! la pantalla
/window,1,off
etable,N12,smisc,1   ! axiles en el nodo i
etable,N22,smisc,7   ! axiles en el nodo j
etable,T12,smisc,2   ! cortante en i
etable,T22,smisc,8   ! cortante en j
etable,M12,smisc,6   ! momento en i
etable,M22,smisc,12      ! momento en j
etable,S12,nmisc,1   ! tensión máxima en i
etable,S32,nmisc,3   ! tensión máxima en j
etable,S22,nmisc,2   ! tensión mínima en i
etable,S42,nmisc,4   ! tensión mínima en j
smult,Ma2,M12,,-.01
          ! escala los momentos
smult,Mb2,M22,,-.01
pretab,n12,n22,t12,t22,ma2,mb2,s12,s22
/window,2,rtop
plls,N12,N12   ! gráfica axiles [kN]
/window,2,off
/window,3,lbot
plls,Ma2,Mb2   ! gráfica momentos [kN/cm]
/window,3,off
/window,4,rbot
plls,T12,T22   ! gráfica cortantes [kN]
/window,4,off
finish         ! salir del postprocesador
```

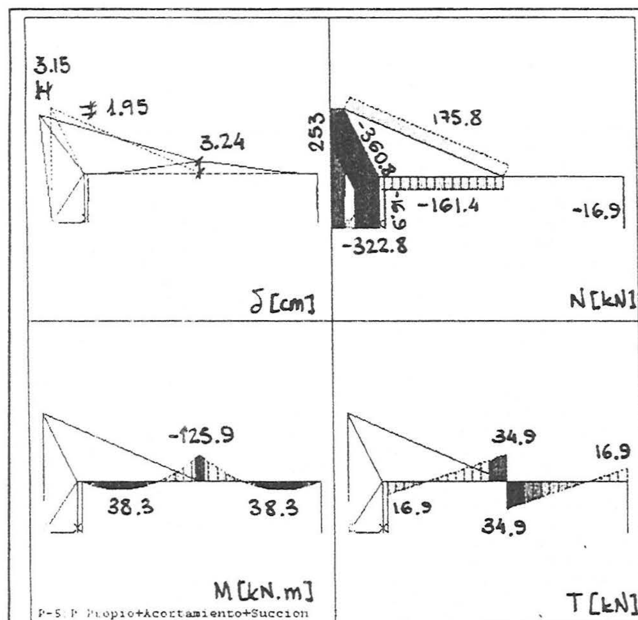
2.1
1.6
390.8
271.6
-557.6
1.83
0
1.83
-32.3
-32.3
-498.6
δ[cm]
N[kN]
-150.9
84.7
84.7
53.9
32.3
32.3
53.9
M[kN.m]
P-5: Peso Propio + Acortamiento
T [kN]

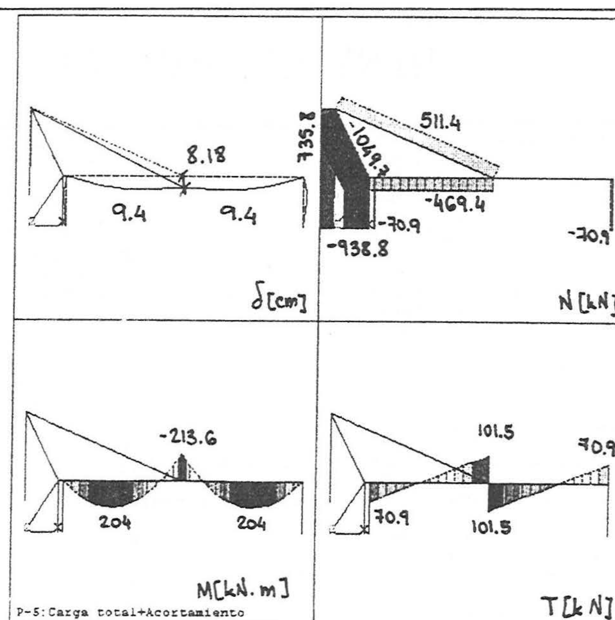
```
!CASO3: PESO PROPIO +
!ACORTAMIENTO
/prep7    ! entra en el preprocesador
/erase
/title,P-5: Peso Propio + Acortamiento
/window,all,off
          ! desactiva todas las ventanas
/window,1,on   ! activa la ventana 1

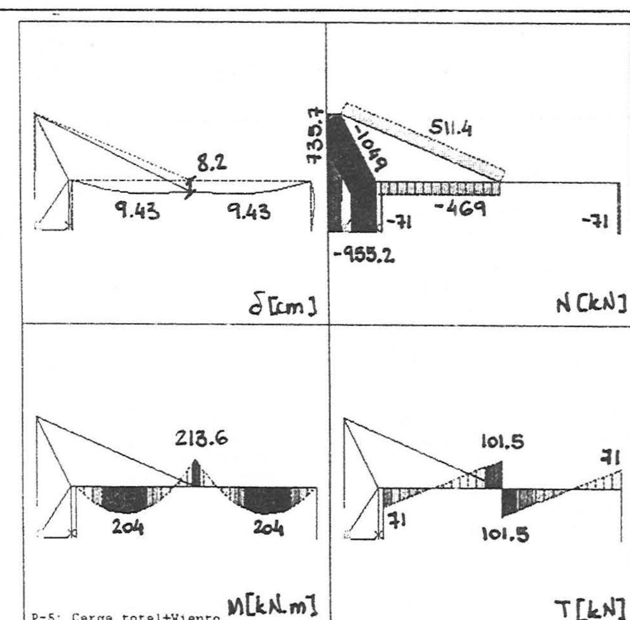
 !CAMBIOS
 !EN LA CREACIÓN DEL MODELO
et,1,1    ! elemento tipo 1 LINK1
r,2,28.27,0.001817
          ! redefine las constantes para
          ! la sección 2 ÁREA de φ 6cm,
          ! ISTRN deformación inicial
          ! dada por ΔL/L,
 !SALVAR Y SALIR
save
finish

 !RESOLUCIÓN
/solution
antype,static ! análisis de tipo estático
esel,,13,40   ! selecciona los elementos
              ! del 13 al 40
 !cargas: peso propio
sfbeam,all,1,pres,0.0616
esel,all
 !resolución
solve
finish

 !RESULTADOS
/post1
/window,1,ltop
/stitle,1,P-5-P.PROPIO+ACORTAMIENTO
pldisp,1   ! muestra la estructura deformada
/noerase
/window,1,off     ! desactiva la ventana 1
etable,N13,smisc,1   ! axiles en el nodo i
etable,N23,smisc,7   ! axiles en el nodo j
etable,T13,smisc,2   ! cortante en i
etable,T23,smisc,8   ! cortante en j
etable,M13,smisc,6   ! momento en i
etable,M23,smisc,12      ! momento en j
etable,S13,nmisc,1   ! tensión máxima en i
etable,S33,nmisc,3   ! tensión máxima en j
etable,S23,nmisc,2   ! tensión mínima en i
etable,S43,nmisc,4   ! tensión mínima en j
smult,Ma3,M13,,-.01 !escala los momentos
smult,Mb3,M23,,-.01
pretab,n13,n23,t13,t23,ma3,mb3,s13,s23
/window,2,rtop
plls,N13,N13   ! gráfica axiles [kN]
/window,2,off
/window,3,lbot
plls,Ma3,Mb3   ! gráfica momentos [kN/cm]
/window,3,off
/window,4,rbot
plls,T13,T23   ! gráfica de cortantes [kN]
/window,4,off
finish         ! salir del postprocesador
```








```
!CASO4: P.PROPIO +
!ACORTAMIENTO+SUCCION
 !RESOLUCIÓN
/solution     ! procesador de solución
antype,static ! análisis de tipo estático
 !cargas
esel,,13,40   ! selecciona los elementos
              ! del 13 al 40
sfbeam,all,1,pres,0.037
         ! peso propio + succión [kN/cm]
esel,all
 !resolución
solve
finish

 !RESULTADOS
/post1
/erase
/window,all,off
            ! desactiva todas las ventanas
/window,1,on  ! activa la ventana 1
/title,P-5:P.Propio+Acortamiento+Succion
/stitle,1,P-5-
P.PROPIO+ACORTAMIENTO+SUCCION
         ! define un subtítulo,
         ! aparecerá en los listados
pldisp,1   ! muestra la estructura deformada
           ! y la original de referencia (1)
/noerase
/window,1,off
etable,N14,smisc,1   ! axiles en el nodo i
etable,N24,smisc,7  ! axiles en el nodo j
etable,T14,smisc,2  ! cortante en i
etable,T24,smisc,8  ! cortante en j
etable,M14,smisc,6  ! momento en i
etable,M24,smisc,12        ! momento en j
etable,S14,nmisc,1  ! tensión máxima en i
etable,S34,nmisc,3  ! tensión máxima en j
etable,S24,nmisc,2  ! tensión mínima en i
etable,S44,nmisc,4  ! tensión mínima en j
smult,Ma4,M14,,-.01
               ! cambio de unidades [kN.m]
smult,Mb4,M24,,-.01
pretab,n14,n24,t14,t24,ma4,mb4,s14,s24
/window,2,rtop
plls,N14,N14   ! gráfica de axiles [kN]
/window,2,off
/window,3,lbot
plls,Ma4,Mb4
          ! gráfica de momentos [kN.m]
/window,3,off
/window,4,rbot
plls,T14,T24   ! gráfica decortantes [kN]
/window,4,off
finish              ! salir del postprocesador
```

```
!CASO5: CARGA TOTAL +
!ACORTAMIENTO
 !RESOLUCIÓN
/solution  ! procesador de solución
antype,static
 !cargas
esel,,13,40   ! selecciona los elementos
              ! desde el 13 al 40
sfbeam,all,1,pres,(0.0616)*2
              ! carga total [kN/cm]
esel,all
 !resolución
solve
finish

 !RESULTADOS
/post1
/erase
/window,all,off
            ! desactiva todas las ventanas
/window,1,ltop
/title,P-5:Carga total+Acortamiento
/stitle,1,P-5-CARGA TOTAL +
ACORTAMIENTO
pldisp,1
/noerase
/window,1,off
etable,N15,smisc,1  ! axiles en el nodo i
etable,N25,smisc,7  ! axiles en el nodo j
etable,T15,smisc,2  ! cortante en i
etable,T25,smisc,8  ! cortante en j
etable,M15,smisc,6 ! momento en i
etable,M25,smisc,12        ! momento en j
etable,S15,nmisc,1  ! tensión máxima en i
etable,S35,nmisc,3  ! tensión máxima en j
etable,S25,nmisc,2  ! tensión mínima en i
etable,S45,nmisc,4  ! tensión mínima en j
smult,Ma5,M15,,-.01
               ! cambio de unidades
smult,Mb5,M25,,-.01
pretab,n15,n25,t15,t25,ma5,mb5,s15,s25
/window,2,rtop
plls,N15,N15         ! gráfica de axiles [kN]
/window,2,off
/window,3,lbot
plls,Ma5,Mb5
          !gráfica de momentos [kN.m]
/window,3,off
/window,4,rbot
plls,T15,T25   ! gráfica de cortantes [kN]
/window,4,off
finish            ! salir del postprocesador
```

```
!CASO6:C.TOTAL+
!ACORTAMIENTO+
!VIENTO
/solution       ! procesador de solución
antype,static
 !cargas
esel,,13,40    ! selecciona los elementos
               ! del 13 al 40
sfbeam,all,1,pres,(0.0616)*2
               ! carga total [kN/cm]
esel,all
f,44,fx,11     ! viento
 !resolución
solve
finish

 !RESULTADOS
/post1
/erase
/window,all,off
            ! desactiva todas las ventanas
/window,1,ltop
/title,P-5: Carga total+Viento
/stitle,1,P-5-C.
TOTAL+ACORTAMIENTO+VIENTO
pldisp,1
/noerase
/window,1,off
etable,N16,smisc,1   ! axiles en el nodo i
etable,N26,smisc,7   ! axiles en el nodo j
etable,T16,smisc,2   ! cortante en i
etable,T26,smisc,8   ! cortante en j
etable,M16,smisc,6   ! momento en i
etable,M26,smisc,12       ! momento en j
etable,S16,nmisc,1   ! tensión máxima en i
etable,S36,nmisc,3   ! tensión máxima en j
etable,S26,nmisc,2   ! tensión mínima en i
etable,S46,nmisc,4   ! tensión mínima en j
smult,Ma6,M16,,-.01
             ! cambio de unidades
smult,Mb6,M26,,-.01
pretab,n16,n26,t16,t26,ma6,mb6,s16,s26
/window,2,rtop
plls,N16,N16   ! gráfica de axiles [kN]
/window,2,off
/window,3,lbot
plls,Ma6,Mb6
          !gráfica de momentos [kN.m]
/window,3,off
/window,4,rbot
plls,T16,T26   ! gráfica de cortantes [kN]
/window,4,off
finish          ! salir del postprocesador
```

MARQUESINA

① número del tipo de sección

1 número de nodo

```
!PREPROCESADOR
/prep7
/vup,1,z
/view,1,-1,3,1
/title,MARQUESINA

!TIPO DE ELEMENTO
et,1,4        ! elemento tipo1, BEAM4
              ! constantes para los diferentes tipos de sección:
              ! ÁREA [cm2], Izz [cm4], Iyy [cm4], Tkz [cm], Tky [cm],
              ! la inercia a torsión, toma la suma de Izz+Iyy
r,1,74.1,1,16,16        ! seccion 1, pilar
r,2,153,2235,8550,380,760     ! seccion 2, pilar inclinado
r,3,276,48668,690207,100,46   ! seccion 3,
r,4,38,1,5060,31.5,1.2        ! secciones 4 a 8,
                              ! viga seccion variable
r,5,18.6,1,840,15.5, 1.2
r,6,15,1,500,12.5,1.2
r,7,11.4,1,262,9.5,1.2
r,8,7.8,1,110,6.5,1.2
r,9,196,66295,66295,532,532   ! seccion 9, viga longitudinal

!MATERIAL  acero
mp,ex,1,21000  ! [kN/cm2]
mp,dens,1,0    ! no considera peso propio

!NODOS
n,1,0,0,0          ! coordenadas de los nodos [cm]
n,2,0,0,300
n,3,30,0,315.5
n,4,100,0,0
ngen,2,4,1,4,1,0,1200,0        ! generación de nodos
              ! 2 nodos(incluido el original), incrementando la
              ! numeración en 4, copiando del nodo 1 al 4
              ! tomados de 1 en uno, el incrementando la
              ! X en 0, la Y en 1200 y la Z en 0
n,9,155,-360,300
n,10,60,-360,331
n,15,-320,-360,455
fill,10,15    ! genera una línea de nudos entre el 10 y el 15
ngen,17,7,9,15,1,0,120,0

!ELEMENTOS
type,1
real,1        ! selecciona constantes de la sección 1: pilar vertical
e,1,2
e,5,6
real,2        ! selecciona constantes de la sección 2: pilar inclinado
e,3,4
e,7,8
real,3        ! selecciona constantes de la sección 3
e,2,3
e,3,31
e,6,7
e,7,101
real,4        ! selecciona constantes sección 4: viga sección variable
e,9,10
e,10,11
egen,17,7,9,10,1 ! generación de elementos
              ! 17 elementos generados (incluido el original),
              ! incrementando la numeración de los nodos en 7,
              ! copiando del 9 al 10, tomados de 1 en uno
real,5        ! selecciona constantes sección 5: viga sección variable
e,11,12
egen,17,7,43,43,1
real,6        ! selecciona constantes sección 6: viga sección variable
e,12,13
egen,17,7,60,60,1
real,7        ! selecciona constantes sección 7: viga sección variable
e,13,14
egen,17,7,77,77,1
real,8        ! selecciona constantes sección 8: viga sección variable
e,14,15
egen,17,7,94,94,1
real,9        ! selecciona constantes de la sección 9: viga longitudinal
e,10,17
egen,16,7,111,111,1

!CONDICIONES DE APOYO
nsel,s,loc,z,0
d,all,uz,0    ! apoyo vertical
d,all,ux,0    ! para que la estructura no gire
              ! ni se desplace
d,4,uy,0
nsell,all

!CARGAS peso propio y nieve [kN]
nsel,s,node,,9,121,7   ! seleccion de subconjunto de
                       ! nodos por su numeracion (node)
                       ! del 9 al 121 tomados de 7 en 7
f,all,fz,-1.140       ! aplica carga puntual a todos los nodos (all),
                       ! direccion del eje z (fz), de valor -1.140 [kN]
nsel,all
nsel,s,node,,10,122,7
f,all,fz,-2.052
nsel,all
nsel,s,loc,z,332,450   ! seleccion de subconjunto de
                       ! nodos por su localizacion en eje z
                       ! de 332 a 450 cm
f,all,fz,-1.824
nsel,all
nsel,s,node,,15,127,7
f,all,fz,-.912
nsel,all

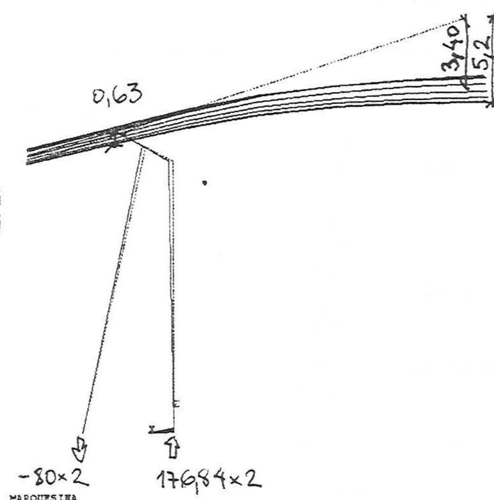
!SALVAR Y SALIR
save
finish        ! salir del preprocesador
```

```
!PROCESADOR DE SOLUCIÓN
solution
antype, static    ! análisis es estático
solve             ! ordena resolver el sistema
finish            ! salir del procesador

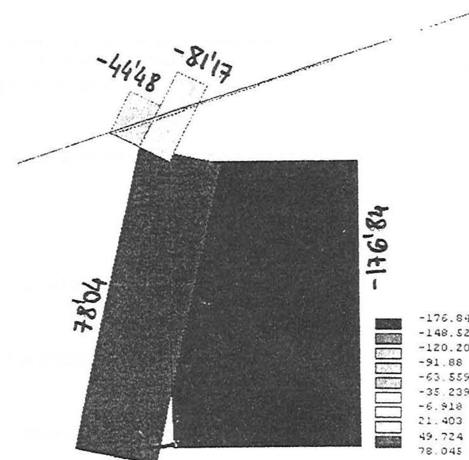
!POSTPROCESADOR
!SALIDA E INTERPRETACIÓN DE
RESULTADOS
post1
etable,mf1,smisc,5   ! momentos flectores nudo i
etable,mf2,smisc,11  ! momentos flectores nudo j
etable,mt1,smisc,4   ! momentos torsores nudo i
etable,mt2,smisc,10  ! momentos torsores nudo j
etable,n1,smisc,1    ! axiles nudo i
etable,n2,smisc,7    ! axiles nudo j
etable,t1,smisc,3    ! cortantes nudo i
etable,t2,smisc,9    ! cortantes nudo j
set,1,1
pldisp,2             ! muestra la deformada
view,1,0,1,0
pldisp,2
smult,mfa,mf1,,-.01  ! cambio de signo y
                     ! unidades [kN.m]
smult,mfb,mf2,,-.01
smult,mta,mt1,,-.01
smult,mtb,mt2,,-.01
view,1,-1,3,1
plls,n1,n2        ! gráfica de axiles [kN]
plls,mfa,mfb      ! gráfica de flectores [kN.m]
plls,mta,mtb      ! gráfica de torsores [kN.m]
plls,t1,t2        ! gráfica de cortantes [kN]
prrsol,f          ! imprime las reacciones en los
                  ! nudos, (f): fuerzas
prnsol,u          ! imprime desplazamientos (u)
                  ! en los nodos
pretab,mfa,mfb,mta,mtb,t1,t2,n1,n2
                  ! imprime los valores de las
                  ! tabla relacionadas
finish            ! salir del postprocesador
```

BEAM4

DEFORMADA [cm]
REACCIONES [kN]



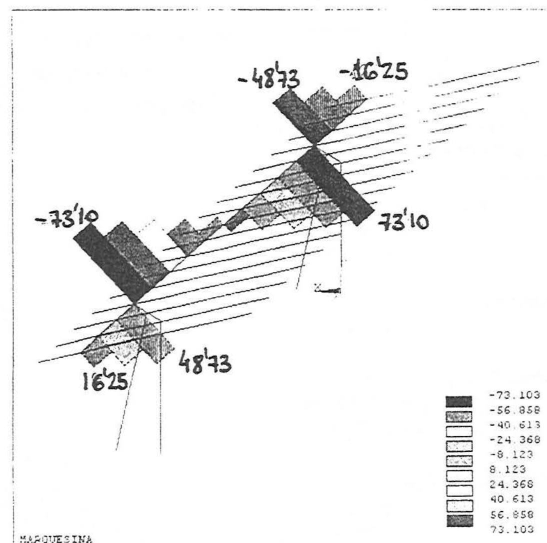
AXILES [kN]



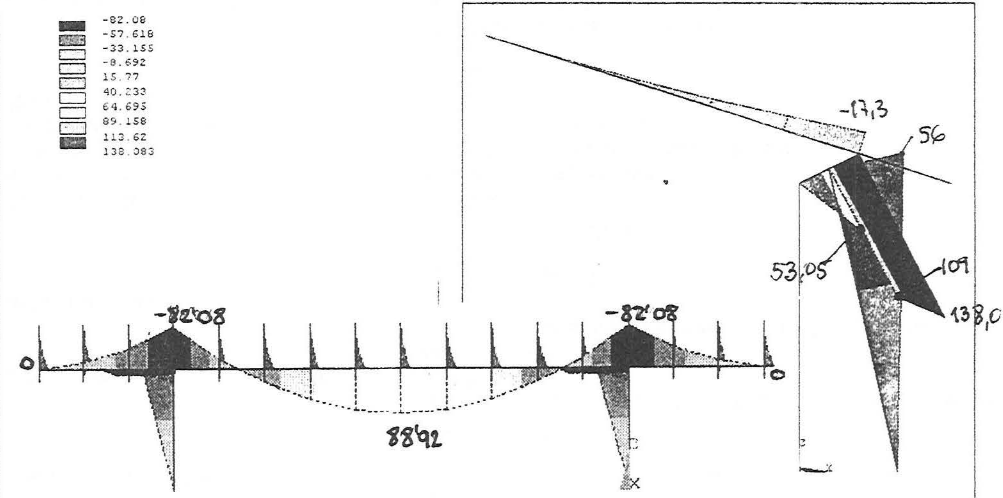
CORTANTES [kN]

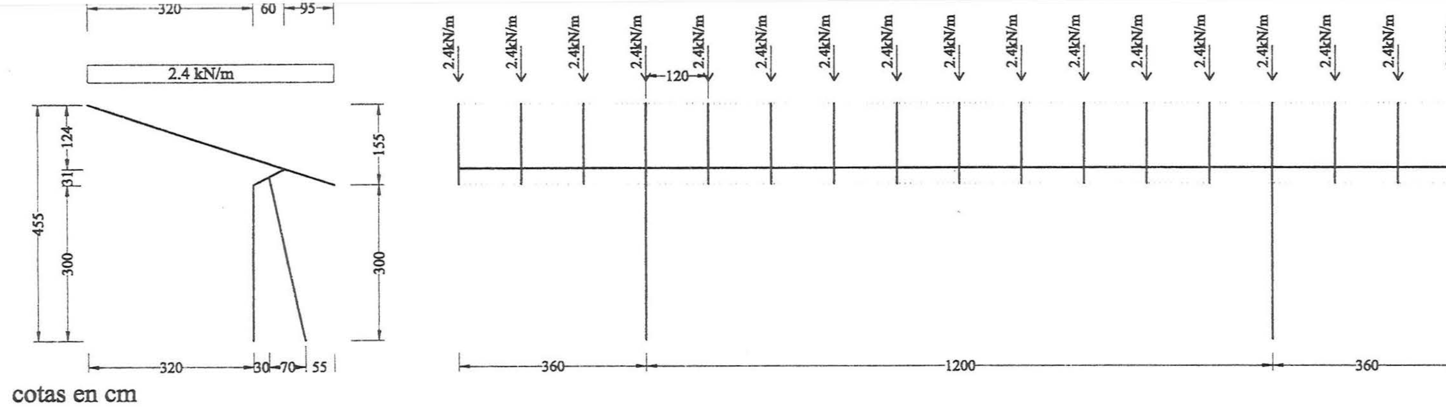
34'20
51'30
11'4
-17'3

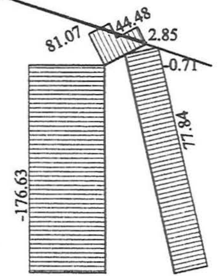
MOMENTOS TORSORES [kN.m]



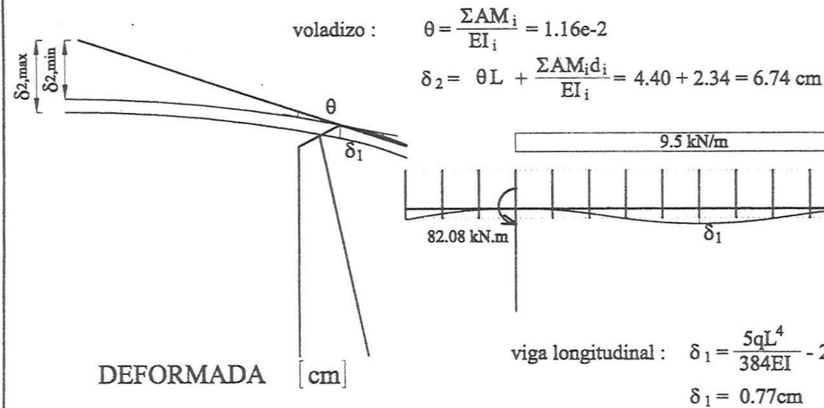
MOMENTOS FLECTORES [kN.m]







GRAFICA DE AXILES [kN]



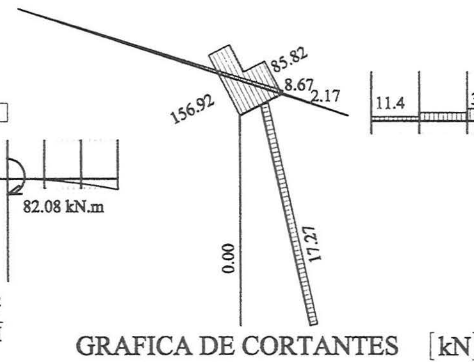
voladizo : $\theta = \frac{\Sigma AM_i}{EI_i} = 1.16e\text{-}2$

$\delta_2 = \theta L + \frac{\Sigma AM_i d_i}{EI_i} = 4.40 + 2.34 = 6.74$ cm

DEFORMADA [cm]

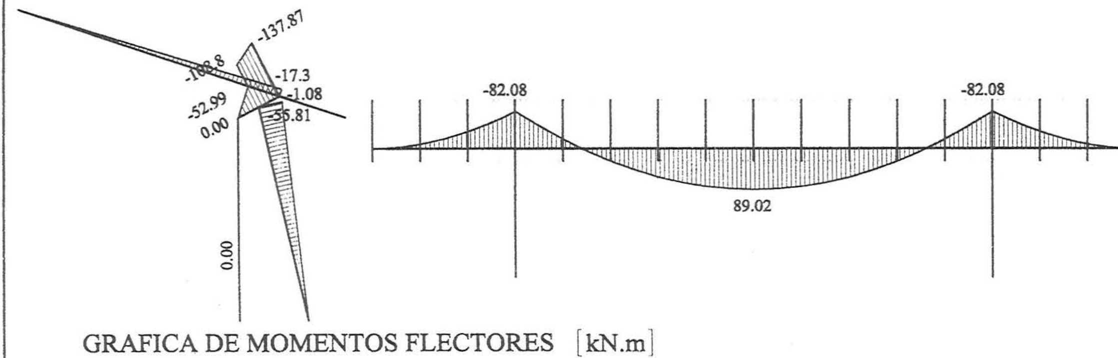
viga longitudinal : $\delta_1 = \frac{5qL^4}{384EI} - 2\,\frac{mL^2}{16EI}$

$\delta_1 = 0.77$cm

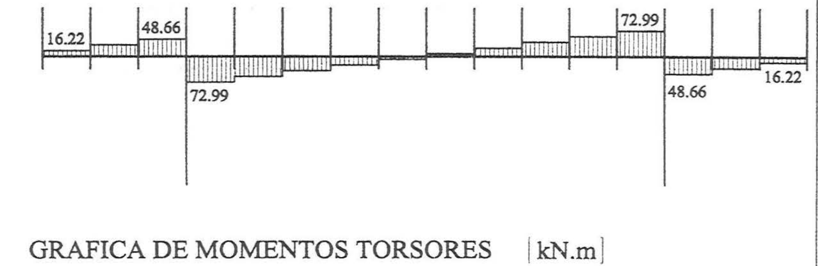


11.4 | 34.2 | 51.3 | 51.3 | 34.2 | 11.4

GRAFICA DE CORTANTES [kN]



GRAFICA DE MOMENTOS FLECTORES [kN.m]



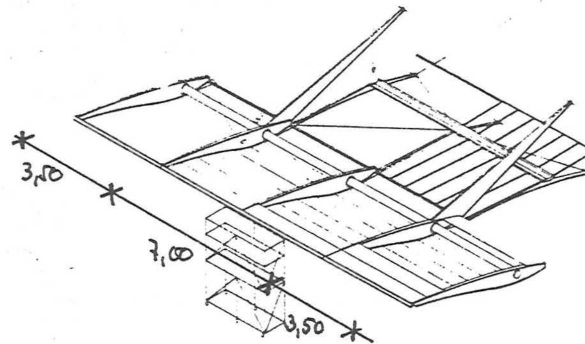
GRAFICA DE MOMENTOS TORSORES [kN.m]

La estructura que se va a analizar está basada en el diseño de la Marquesina de la Estación de Correos de Lucerna de S. Calatrava.

En esta práctica se va a seguir el modelo de análisis seguido en las clases del aula magna: modelizacíon en el programa Ansys, cálculo aproximado manual, resultado del cálculo por elementos finitos, comparación de ambos y conclusiones.

En clase se prepararán los listados, en la sala de ordenadores (horario de clase en aula magna) se introducirán y resolverá si da tiempo y la entrega de la práctica se retrasa al próximo viernes.

Este proceso servirá de ejercitación para la práctica final del curso.



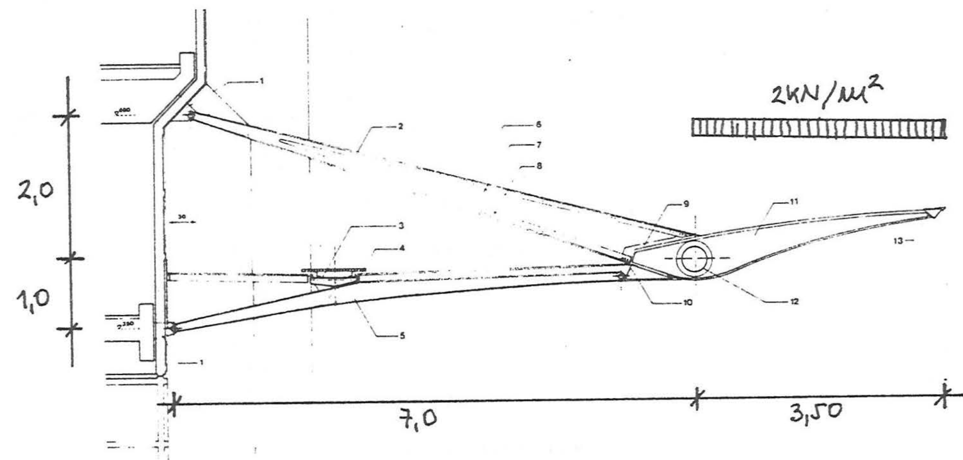
SE PIDE:

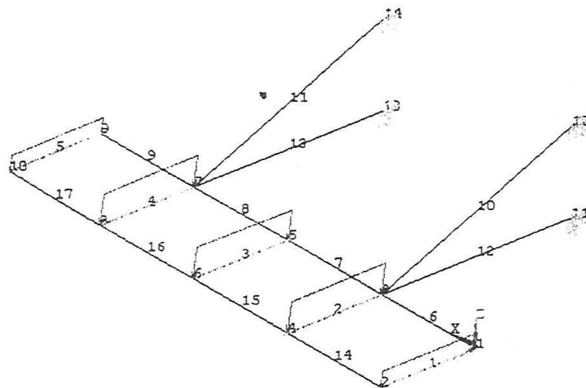
1. Listado de ordenes para ser analizada la estructura en el programa Ansys.

2. Resultados de la resolución del Ansys.

3. Comparación con el cálculo manual realizado y conclusiones.

LAS DIMENSIONES DE LA GEOMETRIA SERAN LAS INDICADAS EN EL DIBUJO ADJUNTO O LAS CONSIDERADAS EN EL CALCULO MANUAL Y LAS DIMENSIONES DE LAS PIEZAS SERAN LAS CONSIDERADAS EN EL CALCULO MANUAL.





```
 !PREPROCESADOR
/prep7
/vup,1,z
/view,1,-1,1,1
/title,MARQUESINA DE CALATRAVA

 !TIPO DE ELEMENTO
et,1,4  ! elemento tipo1, BEAM4
                ! contantes para los diferentes tipos de secciçn:
                ! AREA [cm2], Izz [cm4], Iyy [cm4], Tkz [cm], Tky [cm],
                ! la inercia a torsión, toma la suma de Izz+Iyy
r,1,53.8,604,8360,30,15          ! seccion 1, mensula (IPE-300)
r,2,91.1,9577.5,9577.5,30,30  ! seccion 2, tubo circular (300.10)
                ! toma la inercia a torsion como Izz+Iyy
r,3,98.8,1680,33740,45,19       ! seccion 3, (IPE-450)
r,4,34,1,1,12,11                 ! seccion 4, barra a compresion sin
                                 ! inercia para simular articulacion
r,5,16.52,144.2,144.2,8,8       ! seccion 5, barra uniendo las
                                 ! cabezas de las ménsulas
 !MATERIAL  acero
mp,ex,1,21000  ! [kN/cm2]
mp,nuxy,1,.3
mp,dens,1,0

 !NODOS
/pnum,node,1
n,1,0,0,0               ! coordenadas de los nodos [cm]
n,2,0,350,50
ngen,5,2,1,2,1,350,0,0
n,11,350,-700,-100
n,12,350,-700,200
ngen,2,2,11,12,1,700,0,0

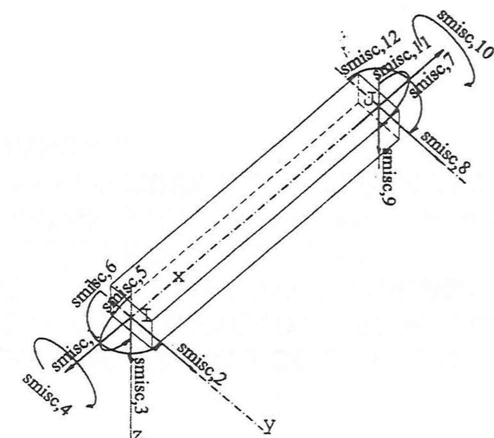
 !ELEMENTOS
/pnum,elem,1
type,1
real,1          ! selecciona las constantes de la seccion 1: mensula
e,1,2
egen,5,2,1,1,1
real,2          ! selecciona las constantes de la seccion 2: pilar inclinado
e,1,3
egen,4,2,6,6,1
real,3          ! selecciona las constantes de la seccion 3
e,12,3
e,14,7
real,4
e,11,3
e,13,7
real,5
e,2,4
egen,4,2,14,14,1

 !CONDICIONES DE APOYO
nsel,s,loc,y,-700
d,all,uz,0          ! apoyo vertical
d,all,ux,0          ! para que la estructura no gire
d,all,uy,0          ! ni se desplace
nsell,all

 !CARGAS peso propio y nieve [kN]
esel,s,elem,,2,4,1        ! seleccion de subconjunto de
                          ! elementos por su numeracion
                          ! del 2 al 4 tomados de 1 en 1
sfbeam,all,1,pres,(6.93e-2) ! carga contínua perpendicular
                          ! al eje X (longitudinal) del elemento
sfbeam,all,3,pres,(-.99e-2) ! carga contínua en dirección
                          ! del elemento.
! La composición de estas dos cargas es la carga vertical
esel,all
esel,s,elem,,1
esel,a,elem,,5
sfbeam,all,1,pres,(6.93e-2/2)
sfbeam,all,3,pres,(-.99e-2/2)

nsel,all
esel,all
 !SALVAR Y SALIR
save
finish        ! salir del preprocesador
```

BEAM4 algunos argumentos para etable

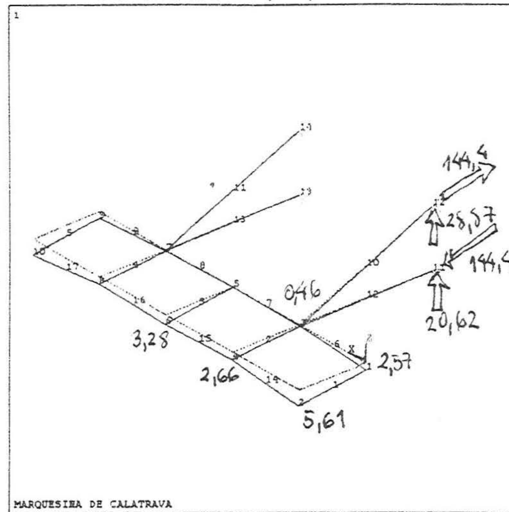


BEAM4	nodo I	nodo J	
smisc	1	7	esfuerzo axil x
smisc	2	8	esfuerzo cortante y
smisc	3	9	esfuerzo cortante z
smisc	4	10	momento torsor x
smisc	5	11	momento flector y
smisc	6	12	momento flector z

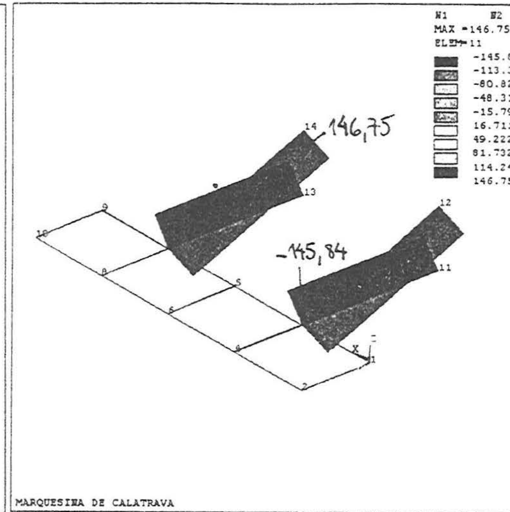
```
solution
antype, static  ! indica que el tipo de análisis es
                  estático
solve           ! ordena resolver el sistema
finish          ! salir del procesador

!POSTPROCESADOR
!SALIDA E INTERPRETACION DE
RESULTADOS
post1
etable,mf1,smisc,5   ! mom. flectores en el pla-
etable,mf2,smisc,11  ! no vertical nudos i,j
etable,mf3,smisc,6   ! mom. Flectores en el pla-
etable,mf4,smisc,12  ! no horizontal nudos i, j
etable,mt1,smisc,4    ! mom. torsores nudo i
etable,mt2,smisc,10   ! mom. torsores nudo j
etable,n1,smisc,1     ! axiles nudo i
etable,n2,smisc,7     ! axiles nudo j
etable,t1,smisc,3     ! cortantes nudo i
etable,t2,smisc,9     ! cortantes nudo j
etable,smax1,nmisc,1 !Tensiones normales
etable,smax2,nmisc,3 ! máximas. Nudos i, j
etable,smin1,nmisc,2 ! Tensiones normales
etable,smin2,nmisc,4 !mínimas. Nudos i, j
pldisp,2             ; Deformada
smult,mfya,mf1,,-.01  ! cambio de signo y
smult,mfyb,mf2,,-.01  ! unidades [kN·m]
smult,mfza,mf3,,-.01  ! cambio de signo y
smult,mfzb,mf4,,-.01  ! unidades [kN·m]
smult,mta,mt1,,-.01
smult,mtb,mt2,,-.01
plls,n1,n2            ! grafica de axiles [kN]
plls,mfya,mfyb         ! grafica de momentos.
        ! flectores en el plano vertical[kN.m]
plls,mfza,mfzb  ! Idem en el horizontal
plls,mta,mtb          ! grafica de momentos
         !torsores [kN.m]
plls,t1,t2            ! grafica de cortantes [kN]
plls,smax1,smax2
plls,smin1,smin2
prrsol,f  ! imprime las reacciones.
prnsol,u  ! imprime desplazamientos nodos
pretab,mfa,mfb,mta,mtb,t1,t2,n1,n2
                       ! imprime los valores de las
                       ! tablas relacionadas
finish                ! salir del postprocesador
```

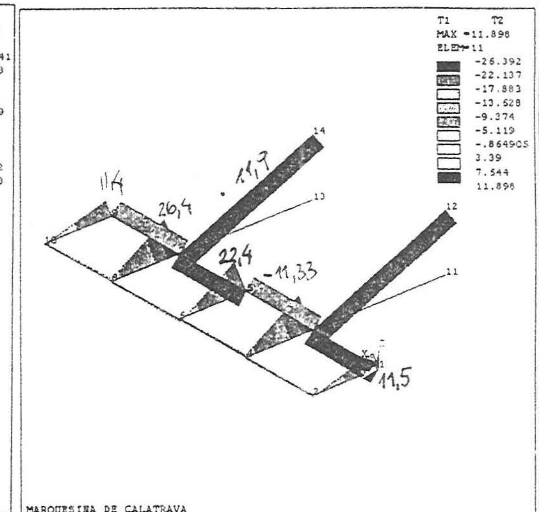
DEFORMADA [cm]
REACCIONES [kN]



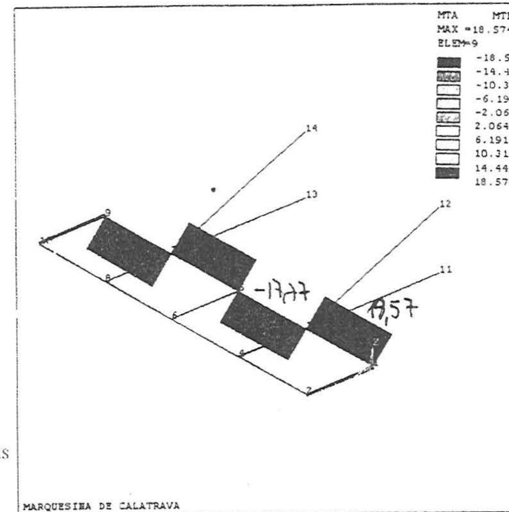
AXILES [kN]



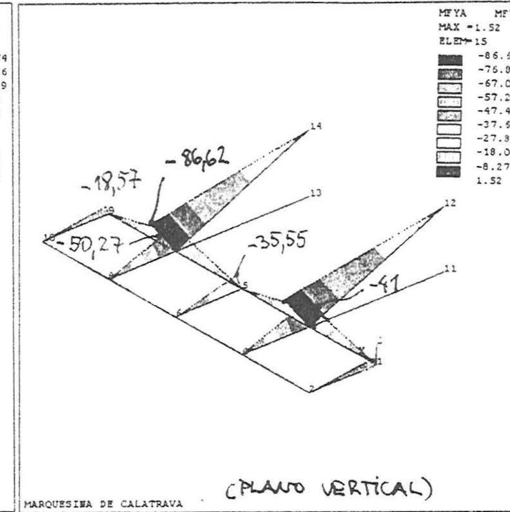
CORTANTES [kN]

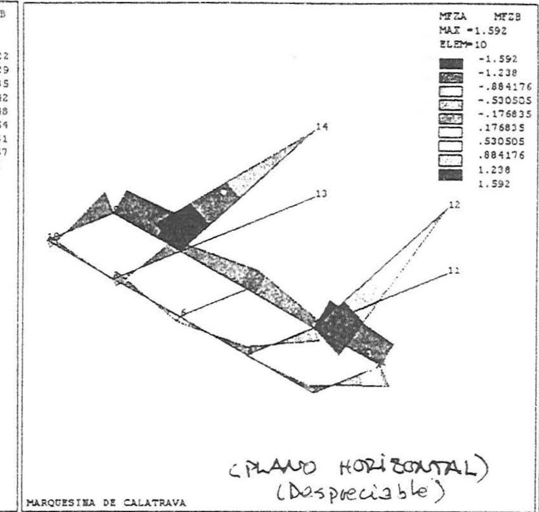


MOMENTOS TORSORES [kN.m]



MOMENTOS FLECTORES [kN.m]





NOTAS

NOTAS

NOTAS

CUADERNO

65.01

CATÁLOGO Y PEDIDOS EN

http://www.aq.upm.es/of/jherrera

jherrera@aq.upm.es

